3. Conclusion

À titre de conclusion nous voulons attirer l'attention sur deux points qui nous paraissent importants et qui transparaissent non seulement à travers le présent article, mais également à travers les différents discours sur l'ordinateur outil de laboratoire.

Le premier point concerne le glissement du caractère expérimental. En effet, si d'un côté l'enseignement de la physique est affirmé comme devant être avant tout expérimental et si l'ordinateur outil de laboratoire est généralement associé à la mesure, de l'autre, la part consacrée à l'expérience proprement dite est généralement extrêmement réduite (à la saisie des données) et les activités qu'il est envisageable de confier aux élèves relèvent essentiellement de *l'analyse des données*.

Le second point concerne la différentiation des logiciels. Il apparaît en effet aujourd'hui que la transposition de l'ordinateur outil de laboratoire s'est en fait opérée de deux façons. L'une a conduit à la conception de "didacticiels" pour *l'enseignement* de la physique (conçus comme des aides à *l'enseignant*), l'autre a conduit à la conception de logiciels pour *faire de la physique* (activités de résolution de problèmes). C'est cette dernière que nous avons choisie et qui avait été à l'origine des premières réflexions dans le domaine [8] [9].

4. Bibliographie

[1] LE TOUZÉ, J.C., BEAUFILS, D. **Quelques remarques didactiques sur les utilisations d'un dispositif d'acquisition de données.** Infra.

[2] BEAUFILS, D., SALAME, N. (1988). "Quelles activités expérimentales avec les ordinateurs dans l'enseignement des sciences?". Dans Expérimenter, modéliser, Revue Aster, no 8. Paris: INRP, pp. 55-79.

[3] RELLIER, C., SOURDILLAT, F. (1987). "Du phénomène réel à la modélisation". Dans Modèle et simulation, Actes des IXèmes journées internationales sur l'éducation scientifique. Paris: Université Paris VII, pp. 501-506.

[4] SALAME, N., BLONDEL, F.M., BEAUFILS, D. (1989). "Le double transfert des connaissances scientifiques et informatiques: exemple en biologie, physique, géographie". Dans Actes du colloque Arthena sur le transfert des connaissances en sciences et techniques. Montpellier, pp. 261-266.

[5] KUHN, T. (1983). La structure des révolutions scientifiques. Paris: Flammarion.

[6] TRIGEASSOU, J.Cl. (1988). Recherche de modèles expérimentaux. Paris : Tec-Doc/Lavoisier, 370 pages.

[7] BEAUFILS, D., LE TOUZÉ, J.C. (1989). "L'ordinateur graphique, un outil didactique pour la modélisation expérimentale en classe de physique des lycées?". Dans Les aides didactiques. Actes des XIèmes journées internationales sur l'éducation scientifique. Paris, UER Didactique Paris VII, pp. 427-432.

[8] DUREY, A. (1983). "Avec des micro-ordinateurs faire des sciences physiques d'abord". Dans Quels types de recherche pour rénover l'éducation en sciences expérimentales. Actes des Vèmes journées sur l'éducation scientifique. Paris: Université Paris VII, pp. 583-588.

[9] DUREY, A. (1989). "Vers des activités didactiques de mise au point de modèles de physique avec des micro-ordinateurs", Revue Aster, no 8, pp. 161-188.

MISE EN PLACE D'UN LABORATOIRE DE SCIENCES PHYSIQUES INFORMATISÉ POUR UNE CLASSE DE 24 ÉLÈVES DE SECONDE.

Daniel MARCHAND
A.E. de sciences physiques et d'informatique
Lycée J.B. DARNET - Saint Yrieix la perche

Résumé

Il s'agit d'une expérience menée avec une classe de seconde de 24 élèves, mise en place à la rentrée 89/90 .

Les élèves disposent d'un laboratoire de sciences physiques équipé (provisoirement) de 7 micro-ordinateurs (PC XT), ainsi que du matériel qui leur est nécessaire pour la construction des interfaces et des capteurs.

J'ai écrit le logiciel d'acquisition et de traitement des données en Turbo Pascal. Il peut être adapté très rapidement à tout type d'expériences, et même être modifié en fonction des remarques des élèves. Ses nombreuses possibilités graphiques apportent une aide non négligeable à la modélisation.

Les élèves, qui participent à la mise au point des manipulations, ont une approche essentiellement expérimentale du phénomène étudié et de la notion de grandeur physique.

Abstract

It's an experiment carried out with 24 fifth-formers which started in September 1989.

The students have at their disposal a Physics laboratory which is fitted - for the time being - with 7 XT PC computers and all the necessary equipment to make the interfaces and sensors they need.

I have developed a program for data acquisition and processing in Turbo Pascal 4.0. It can be easily adapted to drive all types of experiments and even modified according to the students'suggestions. Its graphical possibilities are a useful help to make out theoretical equations. So the students who take part in the adjustment of the experiments have a basically experimental approach to Physics.

1. Introduction

L'expérience décrite dans cet article a débuté à la rentrée 1989-1990. Il s'agissait de profiter de la mise en place d'une autre expérience visant à lutter contre l'échec scolaire, pour introduire la robotique pédagogique dans l'enseignement des sciences physiques au lycée.

1.2 Constat: échec de la pédagogie actuelle

L'enseignement traditionnel des sciences physiques ne convient pas à la majorité des élèves de seconde. Une des causes probables, est que les élèves ne voient dans les sciences physiques qu'une "mathématisation" des faits, accessoirement observés.

Il semble bien que la modélisation des phénomènes, qui occupe souvent dans l'enseignement une part plus importante que leur observation, arrive trop tôt chez des élèves qui n'ont pas encore assimilé les outils mathématiques nécessaires.

1.2 Une alternative possible: l'ordinateur outil pédagogique

La rapidité de la machine et la qualité des résultats font de l'ordinateur un excellent outil pour les expériences de cours, s'il est associé à un système d'agrandissement de l'image obtenue sur l'écran.

La question qui se pose alors est de savoir s'il en serait de même pour faire acquérir aux élèves des méthodes scientifiques en séances de "travaux pratiques".

Il semble que cela soit encore vrai si le programme informatique implique suffisamment l'élève dans la conduite de l'expérience ainsi que dans l'analyse des résultats.

2. Le projet

Le Lycée J.B. DARNET a ouvert à la rentrée 89/90 une "seconde souple" pour des élèves qui auraient dû redoubler leur troisième. L'objectif est d'amener les élèves à un niveau de fin de seconde en deux ans. C'est donc essentiellement le rythme de l'enseignement qui est modifié ce qui est déjà considérable.

Pour les sciences physiques, puisque les difficultés ne découlent pas uniquement du rythme de l'enseignement, il me semblait souhaitable d'introduire en même temps une pédagogie nouvelle et motivante.

Les travaux de l'équipe de P. NONNON (Montréal) montrent clairement que la classe de sciences physiques doit être d'abord un LABORATOIRE.

Et si ce laboratoire reste soumin à la contrainte du programme de seconde ses objectifs sont les suivants:

- Les élèves devront expérimenter eux-mêmes, et l'expérience devra pouvoir apporter les réponses aux questions qu'ils se posent face au montage. Il faudra donc que l'expérience possède un certain caractère évolutif.
- La modélisation pourra être introduite ensuite en proposant par exemple la comparaison entre les courbes expérimentales et des courbes obtenues à partir d'équations mathématiques.
- La mémorisation de tous les résultats ainsi que la sortie sur imprimante des graphes, permettra une étude plus fine et plus théorique du phénomène ainsi que le retour à des méthodes pédagogiques plus classiques qu'il convient de ne pas abandonner en bloc.
- L'utilisaton d'un "tableur" permettra aussi d'envisager des expériences dont le traitement des données ne sera pas automatique, mais

demandera aux élèves un effort de compréhension de la théorie. La "programmation" de leur feuille de calcul les aidera à assimiler et à mémoriser cette théorie.

- L'utilisation d'un traitement de texte sera motivante pour rédiger des comptes-rendus clairs et bien présentés.
- Pour que les élèves soient complètement investis dans la démarche, ils assembleront eux-mêmes les cartes d'acquisition de données, d'après un plan de M. AUBRUN. Ils termineront la mise au point d'expériences, et pourront peut-être même en imaginer d'autres.
- L'électronique, nécessaire à la mise au point des capteurs, sera donc abordée au départ sous un aspect plus technique et la théorie deviendra un outil de résolution des problèmes pratiques qui se poseront aux élèves à un moment donné.
- Les élèves travailleront par groupes de deux. Ils auront accès au laboratoire deux heures par semaine et continueront à "subir" une heure et demie de cours magistral consacré surtout à l'enseignement de la chimie.

Le passage dans ce "laboratoire" doit permettre aux élèves d'acquérir en quelques mois de nouvelles techniques d'approche et de résolution des problèmes et de se faire une meilleure opinion des sciences physiques.

3. Évaluation à court terme de la méthode

Un dialogue sincère avec les élèves s'établira à l'aide de tests individuels et anonymes, ainsi que lors des "réunions-bilan" organisées dans le cadre de l'expérience "seconde souple".

Cela permettra de définir clairement les objectifs visés, pour encadrer les élèves dans leur adaptation à la méthode, mais aussi d'adapter la méthode et les moyens utilisés aux besoins spécifiques des élèves.

4. Évaluation à long terme

Il faudra analyser les résultats obtenus par les élèves, après leur passage dans le laboratoire, jusqu'au baccalauréat et ceci pour plusieurs promotions.

5. Mise en place du laboratoire

Il n'a fallu qu'un mois et demi pour aménager provisoirement une salle dans laquelle ont été installés 7 micro-ordinateurs de type compatible PC/XT, une imprimante et le matériel nécessaire à la construction des cartes et des capteurs. La collection traditionnelle du département de sciences physiques est située dans une pièce voisine et donc facilement accessible.

Je remercie ici Monsieur le Proviseur et Monsieur l'Intendant du Lycée J.B. DARNET qui ont permis le financement de l'expérience (environ 56 000 FF).

6. Le logiciel

J'ai développé un ensemble de programmmes en Turbo Pascal (Borland). Ce langage est compilé, donc les programmes sont d'exécution rapide et même, ne nécessitent pas de routines en langage machine ce qui simplifie les modifications et les adaptations. La gestion des "unités" permet l'écriture rapide de programmes dédiés à un type précis de manipulation tout en conservant une grande homogénéité dans la présentation et l'utilisation des logiciels. De plus, il s'agit du langage que j'enseigne au lycée dans le cadre de l'option informatique. Si les élèves actuels qui participent à l'expérience ne suivent pas cette option informatique, j'espère qu'il n'en sera pas toujours ainsi, ce qui permettra d'aller encore plus loin dans l'implication des élèves.

J'utilise actuellement quatre unités principales:

- gestion de l'écran graphique,
- gestion du repère et du tracé des courbes.

- gestion de la carte d'acquisition de données et contrôle des interruptions.
- gestion des périphériques (imprimante, disques...).

Les programmes déjà écrits peuvent être classés en trois grands groupes:

1°) Un programme de traçage et d'étude de courbes qui permet d'analyser à postériori des résultats d'expériences. Il permet aussi de traiter graphiquement des données acquises manuellement ou provenant d'un tableur. Il peut aussi être considéré comme une "interface" entre les méthodes expérimentales entrevues au collège par les élèves et la robotique pédagogique.
2°) Des logiciels gérant des expériences hors programme de seconde mais permettant d'introduire les nouvelles méthodes expérimentales qui doivent conduire à la mise en place définitive de la notion de grandeur physique.
3°) Des logiciels pilotant des expériences caractéristiques du programme de seconde.

7. Les principales réalisations

Afin de pouvoir utiliser le laboratoire rapidement et de façon efficace je n'ai conçu et réalisé que des manipulations où l'ordinateur intervient dans l'acquisition et le traitement des données. Le pilotage complet de certaines expériences interviendra dans une seconde phase d'utilisation du laboratoire. Cela oblige d'ailleurs les élèves à avoir une activité manuelle qu'il ne faut pas négliger dans l'apprentissage des sciences physiques.

7.1 Carte M.A. d'acquisition de données

Elle peut être décomposée en trois parties:

1 - Décodage d'adresses.

2 - P.I.O. 8255 qui possède trois ports de huit bits programmables en entrée ou en sortie.
3 - Convertisseur analogique/digital (8 bits 100 µs).

Elle permet donc la mesure de tension entre 0V et 5V avec une sensibilité d'environ 20 mV. Il faut prévoir une interface supplémentaire pour des tensions entre -10V et +10V par exemple.

7.2 Mesure du temps

J'utilise une procédure "horloge" qui gère le compteur n° 2 du 8253 (ou 8254) interne des compatibles PC.

7.3 Mesure des vitesses

Elle se fait par détection du passage de bandes blanches portées par l'objet en mouvement, devant un photocoupleur réflectif CNY70. Le signal est amplifié et déclenche une interruption qui lance la procédure "horloge".

Un boîtier multi-entrées permet d'utiliser jusqu'à 5 cellules simultanément.

Toutes ces réalisations sont conçues avec un grand souci d'homogénéité, de robustesse et de facilité de mise en oeuvre.

8. Premier bilan

Le 06/02/90 après une période d'environ trois mois (à raison de deux heures par semaine) une première enquête a été effectuée auprès des élèves. Cette période qui correspond à la phase de mise en place du laboratoire et la mise au point du logiciel avait pour but de tester le programme dans des domaines variés pour améliorer sa fiabilité et sa commodité d'utilisation. Cela devait aussi permettre aux élèves de se familiariser avec l'ordinateur.

Le premier objectif semble atteint: la quasi-totalité des élèves apprécie l'utilisation de l'ordinateur qui leur donne souvent une nouvelle vision des sciences physiques. Un élève écrit par exemple: "Comme je n'aimais pas tellement les sciences physiques *auparavant*, je trouve que c'est une bonne idée de faire apprendre cette matière avec des ordinateurs."

Cependant au cours d'une "réunion-bilan" du 02/03/90 il est apparu qu'une dizaine d'élèves (sur 24) ne se sentent toujours pas "à l'aise" en sciences physiques.

A la question: "l'informatique est elle en cause?" ils répondent: "Non! Au contraire, il faudrait l'introduire dans les autres disciplines". ce qui confirme l'enquête du 06/02/90.

Mais il semble que pour certains ce "malaise" soit dû aux difficultés rencontrées dans le cours traditionnel de chimie, alors que d'autres ont été déroutés par le travail peu structuré fourni pendant la phase de mise en place. Ce n'est donc pas la méthode elle-même qui est à remettre en cause.

Depuis, un didacticiel de chimie a été proposé aux élèves. Ils semblent l'apprécier. Cela nous permettra de tester une autre voie de l'enseignement informatisé.

En ce qui concerne la phase de mise en place qui ne sera plus nécessaire à l'avenir, elle sera remplacée, en partie, par une période d'apprentissage systématique de l'utilisation de l'ordinateur. L'idéal serait que les élèves puissent suivre l'option informatique.

Quant au logiciel, on peut déjà affirmer que son utilisation doit être la plus simple possible. Il faut aussi prévoir une aide accessible à chaque instant pour soulager la mémoire à court terme mais aussi la mémoire à long terme des élèves.

Enfin plutôt que d'écrire un programme "multi-usages" il faut écrire des "logiciels dédiés" qui possèdent tous la même présentation. Cela permet un meilleur encadrement de la démarche expérimentale de l'élève.

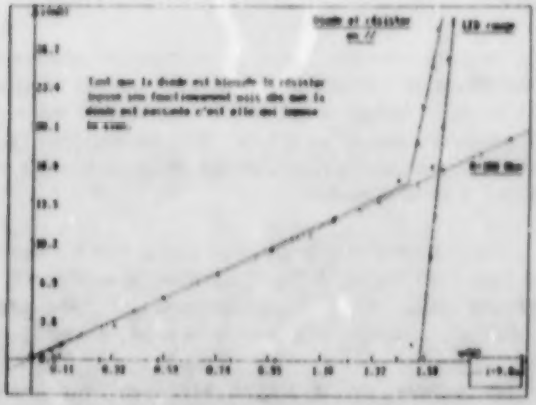
D'autre part, les expériences déja réalisées:

- Étude des oscillations d'un ressort.
- Énergie cinétique de rotation.
- Chute libre

ont été testées, avec succès, dans d'autres classes, pour illustrer le cours de certains collègues non initiés à l'informatique.

Mes élèves commencent seulement l'étude des caractéristiques des dipôles électriques. Il est donc trop tôt pour en tirer des conclusions.

Exemple de copie d'écran concernant les dipôles



Cependant l'usage que j'ai pu faire du matériel correspondant, dans un cours classique, me permet d'être très optimiste. (Cf figure).

9. Conclusion et prospectives

Bien qu'il soit encore trop tôt pour évaluer l'impact réel de l'implantation de notre laboratoire, sur l'aide apportée aux élèves dans leur compréhension des phénomènes physiques, on peut affirmer que le premier objectif est atteint. La motivation des élèves est excellente.

Si l'outil expérimental qui leur est proposé est suffisamment simple d'utilisation, aussi bien pour la partie matérielle que logicielle, on peut espérer faire acquérir assez rapidement, aux élèves, l'autonomie qui leur manque.

Il faudra aussi prévoir des heures d'ouverture du "Labo-Classe" qui y permettront un accès libre. Les élèves pourront venir finir un travail commencé en cours, ou réaliser une expérience personnelle.

Ils tireront alors pleinement profit des apports de la robotique pédagogique.

Je suis convaincu que ce laboratoire apportera une aide efficace aux élèves en difficulté pour lesquels il est mis en place. Mais je pense qu'il serait un facteur de regain d'intérêt pour les sciences physiques s'il était aussi ouvert aux autres élèves. Mon but est donc de l'utiliser dès l'année prochaine avec une classe ordinaire de seconde, mais aussi d'inciter mes collègues à en faire autant.

J'espère aussi que l'expérience pourra être étendue au Lycée E. Perrier de Tulle (100 km de St Yrieix) dans lequel enseigne B. Collet avec qui je travaille déjà. Il se charge actuellement d'une adaptation des logiciels pour une utilisation plus orienté vers l'E.A.O. traditionnelle.

Je compte sur la Région Limousin pour financer l'année prochaine un complément d'équipement. L'expérience sera encore plus significative avec une dizaine de micro-ordinateurs. Il faut envisager, à long terme, la mise en place d'un réseau qui peut être un outil pédagogique

remarquable. (J'en suis convaincu depuis une expérience menée avec une classe d'élèves en grande difficulté, en 1987).

Il faudrait prévoir aussi la formation d'au moins un enseignant par établissement. Les professeurs de sciences physiques initiés à la robotique pédagogique (et même seulement à l'informatique) sont encore bien peu nombreux, ce qui explique sans doute pourquoi notre discipline accuse un certain retard dans ce domaine.

La Basse Lardie, le 10 mars 1990

10. Bibliographie

AUBRUN, Michel (1989). "Interface pour IBM PC et compatible". Cahier du eruti, Université de Limoges, 1989

NONNON Pierre (1986). Laboratoire d'initiation aux sciences assisté par ordinateur. Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal.

CINQUIÈME PARTIE

LA ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE POUR FACILITER L'ACQUISITION DES FONCTIONS COGNITIVES ET DE REPRÉSENTATION

ACTIVITÉ AVEC INSTRUMENT ET FORMATION DES CONNAISSANCES

Pierre RABARDEL
Laboratoire d'Ergonomie et Neurophysiologie du Travail
Conservatoire National des Arts et Métiers - Paris

Résumé

La recherche dont nous présentons les résultats étudie l'effet de l'usage d'un instrument (un robot pédagogique) sur l'activité cognitive des élèves, dans une situation d'apprentissage par la découverte. Les représentations mentales construites par les élèves sont comparées pour trois types de dispositif de commande de la machine. Les différentes étapes de l'évolution des représentations en cours d'apprentissage sont analysées en détail pour un des dispositifs de commande. Cette analyse met en évidence la conceptualisation progressive par les élèves, de différents aspects de la situation:

- la nature et les propriétés des actions possibles avec l'instrument;
- les caractéristiques, les contraintes et les fonctionnalités techniques de la machine;
- les propriétés de l'espace sur lequel portent les actions.

Une modélisation théorique des situations d'activité avec instrument est proposée en conclusion.

1. Contexte et objectifs de la recherche

Les résultats dont je fais état dans cet article sont issus d'un ensemble de travaux sur le thème "Objets matériels fabriqués et développement cognitif"[1]. Un objectif était de mettre en évidence l'effet des objets sur le fonctionnement cognitif, effet postulé par de nombreux auteurs dans le champ anthropologique (ex. Leroi-Gourhan, A., 1964), psychologique (ex. Bruner, 1984; Vigotsky, 1934), ergonomique ou éducatif.

Dans le contexte éducatif français, l'intérêt pour les objets techniques, en tant que source de développement pour les enfants, s'est structuré selon deux voies principales:

- Une voie "**culturaliste**" qui doit beaucoup aux conceptions de Simondon, G. (1956) poursuivant lui-même la tradition des philosophes du 18ième siècle. L'objet est considéré comme un "moment" un "lieu" de cristallisation de l'intelligence humaine en acte qu'il incorpore à sa structure et à son fonctionnement. L'étude des objets et des systèmes techniques peut donc être une voie importante d'accès à la culture. Dans cette perspective, l'objet est **objet d'étude**.

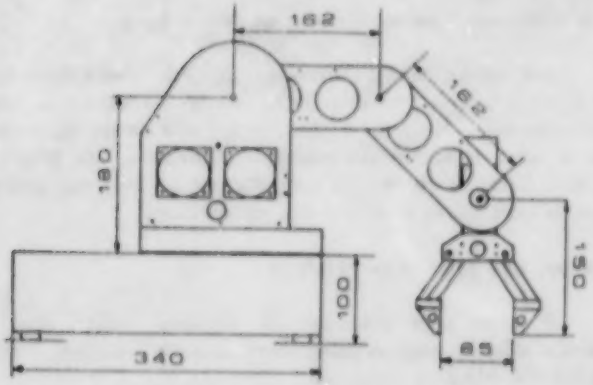
- Une voie "**instrumentaliste**" fondée sur la prise en compte du rôle de l'action dans la construction des connaissances. À cette voie se rattachent pour une part les pédagogies dites actives qui font largement entrer l'usage des objets dans la pratique scolaire, mais aussi les nombreux travaux sur les environnements d'apprentissage et les micro-mondes (cf. par ex. Papert, S., 1980). L'objet a ici un **statut d'instrument**: L'élève qui l'utilise doit tenir compte de ses caractéristiques propres et il doit y adapter son activité. D'autre part les instruments démultiplient les possibilités d'actions, ils ouvrent le champ des explorations possibles pour l'élève. À ce double titre l'usage de l'objet instrument peut être source d'évolution, de développement, voire de régression cognitive.

C'est dans cette perspective "instrumentaliste" que s'inscrit la recherche dont je présente quelques résultats. Son objectif est d'étudier l'effet de l'usage d'un instrument sur l'activité cognitive dans une situation d'apprentissage par la découverte.

2. Cadre théorique et méthodologique

Nous avons utilisé un robot de type bras manipulateur (figure 1) qui se veut une bonne transposition pédagogique d'un robot industriel.

Figure 1- Robot de type bras manipulateur



Afin de comparer le déroulement du processus d'apprentissage en fonction des caractéristiques de l'instrument, nous avons fait varier systématiquement les propriétés du dispositif de commande:

- Pilotage en télémanipulation articulaire par l'intermédiaire du clavier du micro-ordinateur: la commande porte sur les mouvements des moteurs des différentes articulations.
- Pilotage par programmation (les positions successives de la pince sont enregistrées dans un programme).
- Pilotage en télémanipulation de position par l'intermédiaire d'un boîtier à curseurs: la commande porte sur les positions de la pince dans l'espace.

Les élèves, âgés de 13 à 15 ans, étaient confrontés à des tâches de transport d'objet, identiques dans chacune des situations expérimentales:

- En télémanipulation articulaire puis en programmation pour un premier groupe d'élèves;
- En télémanipulation de position pour un second groupe.

Les élèves devaient expliquer ce qu'ils faisaient au fur et à mesure de leurs actions, l'expérimentateur intervenant en cas de nécessité pour demander des précisions. En fin d'expérimentation les élèves devaient dessiner le robot et décrire ses modalités d'utilisation. La totalité de la séance était filmée et retranscrite intégralement au plan des actions des élèves et de leurs effets, ainsi que des verbalisations.

3. Rappel des principaux résultats

Dans un texte précédent (P. Rabardel, 1989), nous avions comparé les résultats obtenus dans les différentes situations. Nous en rappellerons les éléments principaux.

En **télémanipulation articulaire**, les élèves maîtrisent assez rapidement et facilement le pilotage en procédant par approximations successives contrôlées visuellement, un peu à la manière dont se conduit un véhicule automobile. Leurs représentations du système sont essentiellement centrées sur les rotations des différentes articulations et les mouvements relatifs des différents segments.

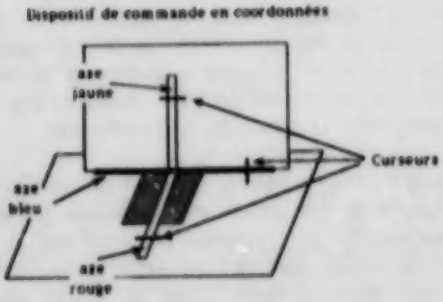
La situation est tout autre en **programmation**. L'élève va, comme dans la situation précédente, piloter le robot via les commandes articulaires, mais la nouveauté est dans la mémorisation des points, et surtout dans le cycle automatique d'exécution du programme: le robot va reproduire chacune des configurations successivement mémorisées, la pince passera par chacune des positions spatiales correspondant à chaque configuration, mais c'est la machine qui calculera les mouvements et les trajectoires qui permettent de passer d'un état géométrique à l'autre (d'un point à l'autre).

L'élève contrôle donc précisément les positions successives de la pince dans l'espace (par mémorisation des états géométriques corres-

pondants), mais, alors que le pilotage en programmation par apprentissage lui laisse penser qu'il contrôle les trajectoires (comme en télémanipulation articulaire), celles-ci lui échappent en fait. Le robot va donc avoir, aux yeux de l'élève, des comportements étranges, inattendus, exactement comme les robots industriels ont des comportements inattendus pour les opérateurs en situation de travail. Le problème des élèves va être d'interpréter ces comportements, de découvrir les règles de production des trajectoires et des mouvements et de distinguer ce qu'ils contrôlent (les positions) de ce qui est sous le contrôle de la machine (les trajectoires). C'est une tâche difficile qui implique une évolution importante des représentations au cours de l'expérimentation.

Dans la troisième situation, la **télémanipulation de position** s'effectue à l'aide d'un boîtier de commande formé de trois curseurs se déplaçant sur trois axes (orthogonaux entre eux et distingués par leur couleur: jaune, rouge, bleu) ils correspondent aux trois axes du repère de l'espace de travail du robot (figure 2). Nous appelons ce dispositif **"espace de commande"**. En positionnant les curseurs sur chacun des axes, on définit un point dans l'espace de commande qui correspond à la position de l'extrémité de la pince dans l'espace de travail du robot. Nous appelons **"espace de travail"** du robot l'espace de l'ensemble des points potentiellement atteignables par l'extrémité de la pince, il est muni d'un repère et le robot lui-même est inclus dans l'espace de travail. Il suffit, pour atteindre un point quelconque de l'espace de travail avec l'extrémité de la pince, de positionner les curseurs de façon à indiquer le point correspondant dans l'espace de commande. Nous appellerons **"espace propre du robot"** l'espace où les positions relatives des segments du robot sont repérées les unes par rapport aux autres, donc indépendamment des repères de l'espace de commande et de l'espace de travail. Enfin l'ouverture fermeture de la pince est commandée directement depuis le clavier du micro-ordinateur.

Figure 2 - Dispositif de commande
La zone hachurée dans l'espace de commande est la représentation de la position du socle du robot dans l'espace de travail.
(sa signification est expliquée aux élèves dans les consignes initiales)



Nous avions conçu ce type de dispositif en faisant l'hypothèse qu'il serait d'un maniement relativement aisé pour les élèves compte tenu:

- de la relation directe établie entre l'espace de commande et l'espace de travail,
- de l'homogénéité des deux espaces: tous deux sont munis d'un repère formé de trois axes orthogonaux et ces deux repères sont coordonnés.

Nous faisions également l'hypothèse que la structuration particulière que nous avions donnée au dispositif conduirait les élèves à construire des représentations de l'espace en termes de système de repère tridimensionnel, l'objectif étant de développer un enseignement systématisé dans ce domaine sur la base de cette première construction cognitive liée à l'action.

En réalité, nos premiers travaux ont montré que cette construction n'était ni immédiate ni aisée. Nous avions pu identifier certaines de ces étapes, mais les résultats restaient de portée limitée. C'est pourquoi nous avons repris nos expérimentations afin de saisir plus finement les évolutions et d'en comprendre les raisons. Cette situation a concerné au total neuf élèves en individuel et trois groupes de quatre élèves en collectif.

4. L'évolution des représentations en télémanipulation de position

Nous allons examiner de façon détaillée les différentes étapes de l'évolution des représentations.

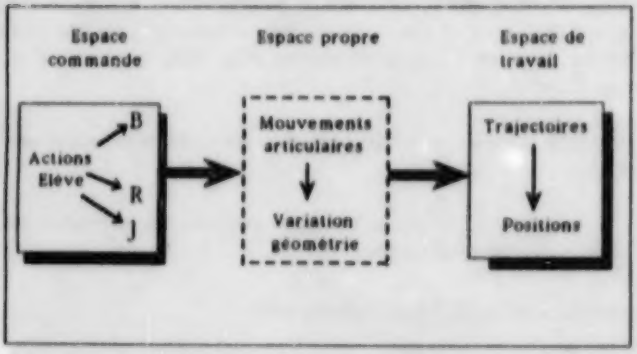
4.1 Le système prolonge les actions du sujet

C'est le niveau de représentation le plus élémentaire que nous ayons repéré. Il constitue une première étape qui se retrouve chez tous les élèves. L'action sur chaque curseur est censée entraîner une rotation articulaire ou un mouvement d'une partie du robot, par exemple:

- Le curseur bleu fait tourner la base;
- Le curseur rouge fait bouger le coude;
- Le curseur jaune fait bouger l'épaule.

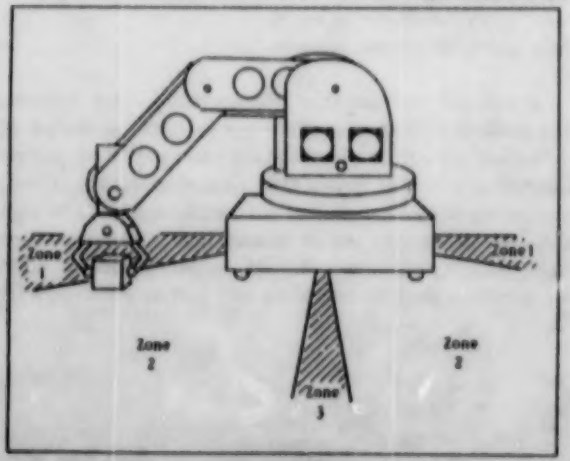
Ce type de représentation met en relation des actions sur les curseurs pris isolément avec des effets sur la partie opérative du robot (donc dans l'espace propre). Le dispositif de commande n'est pas considéré en tant qu'espace pourvu d'un repère mais seulement comme le lieu où l'on peut agir sur les curseurs. La gestion des déplacements de la pince dans l'espace de travail est assurée par un guidage pas à pas de la pince sous contrôle visuel, un guidage essentiellement perceptivomoteur. La figure 3 présente une schématisation de ce niveau de représentation.

Figure 3 - Schématisation de la représentation lorsque le système est considéré par l'élève comme un simple prolongement de ses actions.



Cette représentation bien que fausse permet de prédire approximativement les effets des actions sur les curseurs lorsque la pince reste dans la zone frontale du robot (zone trois sur la figure 4).

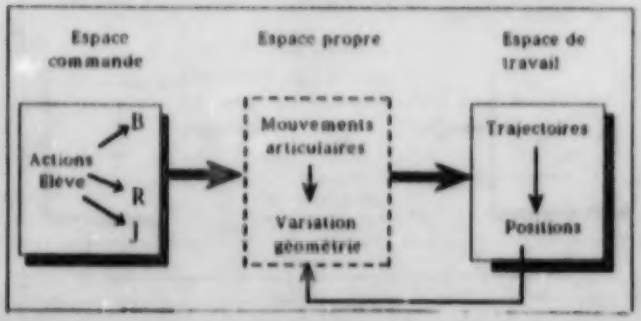
Figure 4 - Différenciation des zones de l'espace de travail



4.2 Début de prise en compte de la position de la pince dans l'espace de travail

Lorsque l'élève est confronté à des tâches exigeant un déplacement dans les zones latérales (par ex. zones 2 de la figure 4), la représentation initiale est transformée. Le point commun des nouvelles représentations avec les précédentes est de considérer les curseurs isolément. L'évolution consiste à spécifier les caractéristiques du modèle en fonction de la position de la pince dans l'espace de travail. Ainsi, pour le curseur rouge, le modèle de la représentation initiale est conservé pour la zone frontale (3) mais un effet supplémentaire (coude + base) est ajouté dans les zones latérales (2). On observe des évolutions voisines sur les autres curseurs. Ces modèles locaux ont une validité prédictive plus large que le modèle de base de la représentation initiale; ils sont fonctionnels pour une classe de situation plus étendue. Cela tient à une première **prise en compte des propriétés de l'espace de travail dans le modèle**. En effet, alors que dans le modèle de base, la relation est uniquement établie entre le dispositif de commande et les parties du robot, dans les modèles locaux la relation à l'espace de travail intervient sur la base d'une différenciation des zones d'activité dans cet espace. L'espace de travail commence donc à prendre un statut pour une part différent de celui de l'espace des déplacements où la machine est conçue comme prolongeant simplement les mouvements du sujet. La figure 5 illustre ce niveau représentatif.

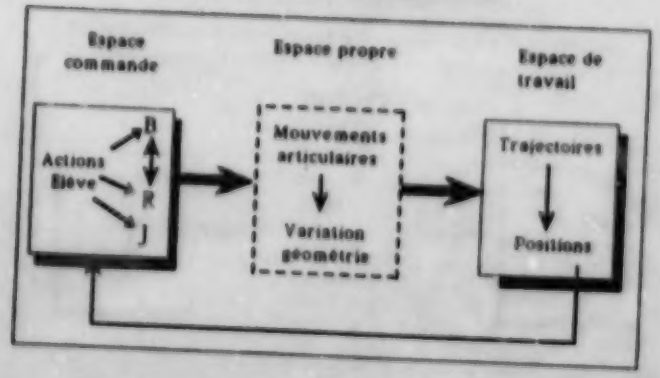
Figure 5 - Schématisation de la représentation lorsque les propriétés de l'espace de travail commencent à être prises en compte dans la représentation.



4.3 Interaction entre curseurs

Les modèles locaux des différents curseurs sont souvent contradictoires et ne peuvent être fonctionnels dans toutes les situations. Tout se passe alors comme si les élèves tentaient de réduire les contradictions en cherchant à coordonner les modèles locaux entre eux. Par exemple, dans certaines zones de l'espace de travail, l'action sur le curseur rouge est pensée comme modifiant l'effet de l'action sur le curseur bleu. La caractéristique nouvelle prise en compte dans la représentation est celle de l'**interdépendance des curseurs**: l'obtention d'un mouvement dans une zone spécifiée de l'espace de travail est liée à l'**action simultanée** sur deux curseurs. Ils acquièrent une solidarité qu'ils n'avaient pas dans la représentation précédente. Ainsi pour un élève, dans la zone frontière entre les secteurs deux et trois, apparaissent ce qu'il appelle des "effets plus": "Le bleu fait tourner la base mais quand je bouge le rouge (qui fait tourner l'épaule) dans cette zone là, il fait aussi tourner un peu la base, c'est comme si le rouge avait un **effet plus** sur le bleu". Cette représentation va permettre à l'élève de coordonner des actions simultanées (et non plus successives) sur les deux curseurs. La figure 6 schématise ce type de représentation.

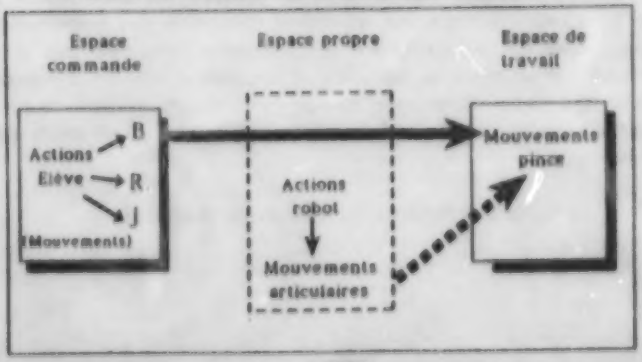
Figure 6 - Schématisation de la représentation lorsque l'interaction entre curseurs commence à être prise en compte dans la représentation



4.4 L'espace de travail devient le lieu des effets des actions de l'élève

Un cap important va être franchi. Le point commun aux différentes représentations que nous venons d'examiner est que l'élève interprète les résultats de ses actions en termes de transformations articulaires du robot, c'est-à-dire en référence à **l'espace propre du robot**. Une interprétation radicalement nouvelle se fait jour: elle consiste à penser les effets de l'action sur les curseurs en termes de mouvements de la pince dans **l'espace de travail**, c'est-à-dire par rapport à un nouveau système de référence: l'espace de travail. Dans un premier temps, les mouvements sont définis en sens et direction: "le bleu permet d'aller de droite à gauche et de gauche à droite, le rouge d'avant en arrière", puis vient s'ajouter une proportionnalité des déplacements entre curseurs et pince. Le dispositif de commande prend ainsi un statut **d'espace de commande** et les actions (mouvements des curseurs) dans cet espace sont directement mis en relation avec des transformations (les mouvements de la pince) dans **l'espace de travail reconnu comme lieu de lecture pertinent des effets** des actions de commande. Corrélativement des relations postulées dans les représentations précédentes perdent leur intérêt et disparaissent des verbalisations (par exemple les effets plus, l'influence des zones). La figure 7 schématise ce type de représentation.

Figure 7 - Schématisation de la représentation lorsque l'effet des actions de commande est pensé en termes de mouvements dans l'espace de travail



4.5 Relations réciproques de position entre l'espace de travail et l'espace de commande

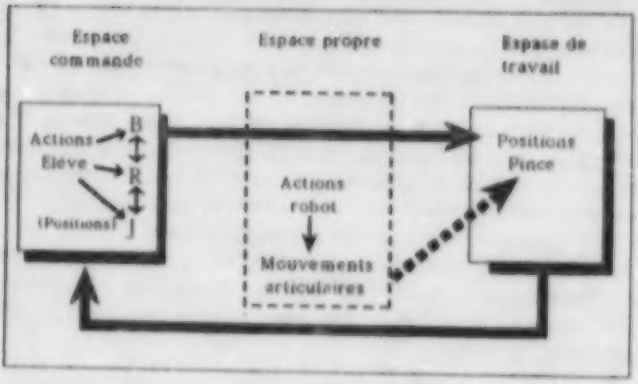
C'est le dernier niveau de représentation que nous avons identifié. Les élèves passent d'une lecture en termes de mouvements à une interprétation en termes de positions: **la position des curseurs** dans l'espace de commande est conçue comme définissant **la position de la pince** dans l'espace de travail.

Les positions sont dans un premier temps définies par référence interne au dispositif. Par exemple, si le curseur bleu est **près du dessin** du socle dans l'espace de commande (cf. figure 2), la pince sera **près du socle** du robot dans l'espace de travail. Les positions des objets sont donc définies les unes par rapport aux autres. Notons que c'est seulement à ce niveau que la zone hachurée de la figure 2 est interprétée comme représentant le socle du robot (alors que la signification de cette zone était définie explicitement par l'expérimentateur dès les consignes initiales). L'espace de commande devient alors, pour les élèves, un **espace représentatif**.

Dans un second temps, les positions sont définies par référence à un système d'axes: les trois curseurs correspondent aux trois axes du repère de l'espace de travail et leurs positions simultanées définissent la position de la pince dans l'espace de travail par référence à son repère. L'ensemble des éléments pertinents de la situation est donc repéré par rapport à un référentiel commun qui définit l'ensemble des emplacements possibles. L'espace de travail est conçu comme l'ensemble des points atteignables par la pince et auxquels correspondent, de façon bijective, l'ensemble des points de l'espace de commande. Les curseurs désignent solidairement, par la combinaison de leurs positions, les points de l'espace de commande.

La figure 8 schématise ce type de représentation.

Figure 8 - Schématisation de la représentation lorsque l'effet des actions dans l'espace de commande est pensé en termes de positions dans l'espace de travail.



Dans la situation de télémanipulation par curseur, les élèves pensent initialement que leurs actions sur le dispositif de commande vont produire des transformations de la géométrie du robot, et des mouvements des articulations et des différents segments. En fait, cette attente est radicalement déçue et la difficulté pour les élèves va être de construire les relations pertinentes entre ces actions, les effets sur le système et dans le réel (ici l'espace de travail). Ils vont devoir déstructurer leurs représentations initiales (où les actions sur le dispositif de commande sont pensées comme produisant des effets sur la machine), pour construire progressivement de nouvelles représentations qui conceptualisent la relation entre la position des curseurs dans l'espace de commande et la position de la pince dans l'espace de travail. Cette mise en relation de leurs actions avec les transformations opérées sur le réel passe, d'une part, par une inscription progressive de l'espace de travail dans la représentation, d'autre part, par une transformation profonde de la conceptualisation de cet espace. L'espace des déplacements où se prolongent les actions du sujet, devient un espace des positions et de leurs changements pourvu d'un repère définissant l'ensemble des emplacements possibles pour les objets, la pince et le robot lui-même.

La représentation des propriétés du dispositif de commande subit une évolution parallèle: les curseurs, d'abord pensés comme isolés et agissant sur les articulations, sont progressivement coordonnés entre eux et reliés directement aux transformations dans l'espace de travail. Le dispositif de commande, au départ simple lieu d'application des actions de commande, est progressivement interprété en termes d'**espace de commande**, lui-même pourvu d'un repère en correspondance avec celui de l'espace de travail. Les positions des curseurs dans l'espace de commande définissent les positions de la pince dans l'espace de travail. L'espace de commande acquiert simultanément une **fonction représentative**: les positions des curseurs **représentent** analogiquement l'image de la position de la pince dans l'espace de travail et, l'image du socle du robot (cf. la zone hachurée de la figure 2) dessinée sur le dispositif de commande est enfin, et seulement à ce niveau, interprétée et prise en compte pour ce qu'elle représente.

5. Conclusions

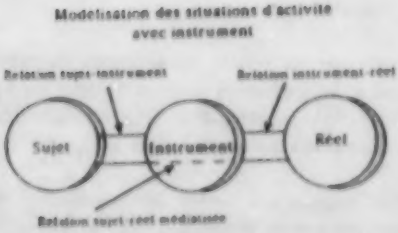
5.1 L'instrument médiateur

L'ensemble des évolutions que nous venons de décrire traduit une **construction solidaire des propriétés des actions, de l'instrument et du réel sur lequel il permet d'agir: l'espace**. Cette construction simultanée se déroule pour chaque élève selon des modalités propres, mais elle concerne tous les élèves avec lesquels nous avons expérimenté. C'est donc là, nous semble-t-il, un résultat de portée générale.

La genèse des représentations porte sur un champ beaucoup plus large que la seule interaction sujet/objet. D'emblée cette interaction s'inscrit dans une interaction qui la surdétermine: celle du sujet avec le réel sur lequel il agit et qu'il transforme en utilisant l'instrument comme moyen. Cette caractéristique se retrouve, avec des niveaux de complexité différents, pour les deux autres situations dont nous avons brièvement rappelé les résultats.

Les situations d'activité avec instrument nous paraissent donc caractérisées par une double médiatisation: l'instrument médiatise à la fois les actions du sujet sur le réel et en retour les informations qu'il en reçoit, il informe le sujet sur les propriétés de ses actions et en retour sur les propriétés du réel et de l'instrument lui-même. **La construction des représentations porte simultanément sur la nature et les propriétés des actions possibles sur et avec l'instrument, sur les caractéristiques, les contraintes et les fonctionnalités techniques de l'instrument, sur la conceptualisation même du réel sur lequel l'instrument permet d'agir.** C'est pourquoi, il nous semble que l'étude des activités avec instrument devrait pouvoir être menée de façon plus satisfaisante dans le cadre d'une modélisation tripolaire des situations (cf. figure 9) que dans celui de modélisations bipolaires le plus souvent utilisées (par exemple du type diade élève-ordinateur).

Figure 9 - Modélisation tripolaire des situations d'activité avec instrument
(Source: Rabardel, P.; Verillon, P., 1985)



5.2 Perspectives pédagogiques

Les différents instruments que nous avons utilisés, conjugués aux situations et aux tâches, ont fonctionné comme des systèmes de contraintes conduisant les élèves à construire des représentations différenciées dans leur contenu. La télémanipulation articulaire conduit à des représentations centrées sur les mouvements relatifs des articulations et segments de la machine. La programmation conduit à distinguer, dans l'espace de travail, les positions contrôlées par le sujet des trajectoires définies par la machine. Tandis que la télémanipulation de position aboutit à des conceptualisations en termes d'espace tridimensionnel doté d'un repère.

La maîtrise des couples instruments-situations d'action fournit ainsi à la pédagogie des moyens puissants de guidage des processus de conceptualisation en relation à l'action.

Nous avons, dans cet article, décrit de façon détaillée ce processus pour la situation de télémanipulation des positions. Son point d'aboutissement (espace doté d'un repère) amène les élèves au seuil d'une conception numérisée de l'espace. Les étapes ultérieures, que nous avons commencé à explorer portent sur:

- la réalisation par les élèves de systèmes de repère matériels à la fois dans l'espace de commande et dans l'espace de travail;
- la programmation numérique directe des positions en coordonnées à partir des systèmes de repère ainsi construits.

Ces situations pourront être exploitées en mathématiques pour la conceptualisation des problèmes de repérage dans l'espace, et en technologie comme première approche des problèmes posés par la conduite des machines utilisant un espace numérisé (par exemple les machines outils à commande numérique). Leur intérêt peut être particulièrement grand pour les élèves en difficulté, auxquels une voie d'accès à des conceptions formelles de l'espace peut être ainsi ouverte. Mais, hors du système scolaire, des situations d'activité avec instrument, bien

maîtrisées, pourraient être utilisées pour préparer la reconversion des travailleurs face aux nouvelles technologies et même, avant que des difficultés ne se produisent, pour créer des situations de travail qui favorisent le développement des compétences, en particulier au plan conceptuel.

6. Bibliographie

BRUNER, J.S. (1984). **Savoir faire et savoir dire**. PUF, Paris.

LEROI-GOURHAN, A. (1964). **Le geste et la parole, T. 1: Techniques et langages**. Albin Michel, Paris.

MOUNOUD, P. (1970). **Structuration de l'instrument chez l'enfant**. Delachaux Niestlé Editeurs.

PAPERT, S. (1980). **Le jaillissement de l'esprit**. Flammarion, Paris.

RABARDEL, P. (1989). "Analyse de l'activité cognitive et modélisation des situations pour l'évaluation et la conception de robots pédagogiques". Dans **Actes du premier congrès francophone de robotique pédagogique**, Le Mans, France.

RABARDEL, P. et VERILLON, P. (1985). "Relations aux objets et développement cognitif". Dans **Actes des 7èmes journées internationales sur l'éducation scientifique**, Chamonix, France.

SIMONDON, G. (1958). **Du mode d'existence des objets techniques**. Paris.

VIGOTSKY, (1934). **Pensée et langage**. Traduction 1985. Éditions Messidor, Paris.

Note

1. Nous avons mené ces travaux dans le cadre du programme de recherche "Objets matériels fabriqués et développement cognitif" de l'Institut National de Recherche Pédagogique. Nous remercions particulièrement pour son accueil P. HERVÉ, Principal du Collège du Bois d'Aulne à Conflans Sainte Honorine, J. MALLET, R. PEZET, D. SARRAZIN, F. WILLEMS, professeurs et C. FLAHAUT, étudiant, pour leur collaboration à ce travail.

STUDENT PROBLEM SOLVING IN CONSTRUCTING AND PROGRAMMING KIT-BUILT ROBOTIC DEVICES

Maurice BÉLANGER
Jean-Baptiste LA PALME
University of Québec in Montréal

Abstract

Beginning students working with various construction materials (Fischer-Technik, Lego, Robotrix) to build robotic devices, controlled by a computer, experience certain conceptual difficulties that need to be taken into account. Three types of difficulties encountered by students will be described: 1) "engineering" design problems, 2) the difficulty of using their "theoretical" school knowledge in solving robotics problems, and 3) logical and algorithmic difficulties in programming.

Résumé

Les élèves novices qui utilisent différents ensembles de construction tels que Fischer-Technik, Lego, Robotix, pour créer des robots contrôlés par ordinateur, rencontrent certaines difficultés dont il est nécessaire de tenir compte. Trois types de difficultés rencontrées par les élèves seront décrites: 1) les difficultés reliées à l'aspect ingénirique des problèmes, 2) l'utilisation des connaissances en physique dans la résolution de problèmes mécaniques simples , 3) les difficultés logiques et algorithmiques rencontrées au niveau de la programmation.

1. Introduction

Over the last four years we have worked with elementary and secondary school students who use construction-kit materials such as Fischer-Technik, Lego and Robotix to build various devices that can be connected to an appropriate computer interface[1]. The constructed device

can then be computer programmed. The activity of constructing using these materials often results in ingenious devices based on elementary principles of physics. We have attended exhibits of robotic devices built by elementary school children, and have been impressed by their work. In examining these student productions it needs to be recognized that we are looking at the final product of what probably required a long series of trial and error, of making and unmaking, trouble-shooting and debugging. This process of "bricolage" in building the device has left no traces, other than the fact that the successful final product is the result of this process. In other words we see the final product, but not the dynamic process that has produced it.

The purpose of this brief paper is to present a series of incidents, in the form of anecdotes, that try to capture some selected moments during the construction process where students encountered difficulties, obstacles or frustrations. Very frequently some type of discrete or direct adult (teacher) intervention is required if the student is not to abandon his or her project saying, "it's impossible !!". A few tentative generalizations stemming from these anecdotes will be presented in the concluding remarks.

2. The construction process and student knowledge

We may imagine that elementary and secondary school students have at least two sources of knowledge on which to draw in the process of constructing a device:

2.1 Certainly many adolescent students have when they were younger played with a variety of construction kits, and we might expect that some of the learning generated in building projects might carry over. We may speculate that children working with construction kits gradually build-up a repertoire of informal or intuitive physical knowledge (for example, elementary mechanical principals of physics), and that this body of knowledge at a later date plays a role in solving a particular construction problem. This must remain a speculation since little research has been conducted on this

particular matter. However, we do know from recent research on "naive physics"[2] that people do carry in their heads a body of knowledge they have themselves constructed from their experience, and that this knowledge is often in contradiction to "textbook" or "expert" knowledge. It seems reasonable, therefore, to assume that when students are confronted with an engineering problem of building a computer controlled electro-mechanical device, that their self-constructed "informal knowledge" is somehow brought into play.

2.2 A second source of knowledge, we might reasonably expect to play an active roll in constructing a device, is "school knowledge". In the two year period 1987-89, we worked with 24 secondary school students, all of whom were considered as strong students in science and mathematics. In their physics courses they had studied gears, levers, pulleys, inclining planes etc., as well as elementary concepts of electricity. All of these are standard topics in the beginning physics curriculum. Furthermore, these students had performed very well on science and mathematics examinations from the Ministry of Education. Therefore, we might once again assume, that when these same students are confronted with problems of constructing a robot controlled device this body of school knowledge would play a role in solving a particular engineering problem encountered either in the process of planning or actual building.

3. Source of anecdotes

Group (a). In 1986-87 we worked with three 13 year old boys from a private secondary school over a six month period. A number of Fischer-Technik and LEGO construction kits were presented, and they were free to build whatever devices they wished with these materials. They then programmed their devices in LOGO. These students were very able in mathematics and science, and we presumed they would have little difficulty in building simple electro-mechanical devices, using their "school knowledge" from science courses in which they had studied gears, levers and pulleys.

Group (b). Over a two year period, from 1987 to 1989, we worked with 24 students (12 boys, 12 girls) from a public secondary school. The major project of this group was in building a robot theater where a number of simple electro-mechanical devices had be to constructed and programmed. Programming was done in the ANDROID language[3].

Group (c). Twelve elementary school students (ages 11-12). Pilot studies were done with eight students in a public elementary school, and four students worked at the authors' laboratory at the university. These students programmed devices that had been built by the authors.

4. Anecdotes

4.1 Student difficulties in using their informal or school knowledge to solve construction-engineering problems

Anecdote 1 (Source Group a). **Gears**. The three boys decided as their first project to build a car in LEGO blocks that would forward and backward, and would have front wheels that turned right or left. The car was quickly built using the basic structure of a car plan provided by a LEGO booklet furnished with the kit. They had little difficulty in programming the movement of this car to move on the floor using a series of pseudo-primitives written in LOGO. When they attempted to have this car climb an inclining plane, they immediately found that "the car is not strong enough". The solution they proposed was "we need to add more gears". They explained that they had studied gears in their science course and that "more gears make it stronger". Part of the car was dismantled, and more shafts and more gears added without seemingly any plan, but apparently based on their principle "more gears -- stronger". This second version was tested and also found to be unable to climb the inclining plane. They agreed "we need somemore gears". The car underwent a series of reconstructions each version containing more and more gears until the device contained so many gears it began to resemble a 19th century clock. None of these cars were able to climb the inclining plane - and they

concluded "we need more electricity!!" At this point they were told that in this particular case this (more electricity) was not possible. They then asked if we had any "stronger motors", and we responded that we did not. They concluded - "Then it's impossible. You can't even make it (the car) climb a little hill".

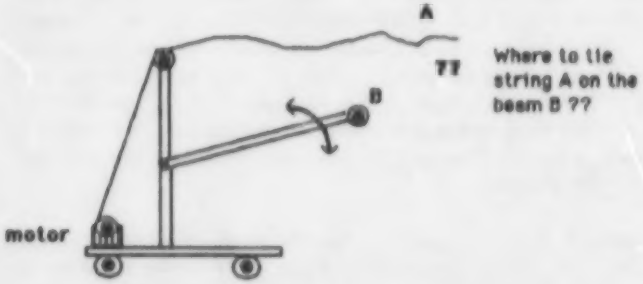
There is always a delicate line in "teaching" about when to intervene and when to keep quiet and let the students work out their own solution. In this case the principle "more gears -- stronger" needed to be examined, and it seemed appropriate that in the present state of affairs some adult intervention might be useful. When questioned about what they had done in school concerning "gears", one of the boys explained "say you have a gear with a 100 teeth, and another gear with 10 teeth. So when the little one turns ten times, the big one will only turn once". We inquired, "What has this to do with "stronger"?" The reply, "Nothing. The little one just makes the big one go slower".

Without entering into the details here, this adult-pushed discussion eventually led to the students trying out a series experiments to see if they was any relation between "strong/weak and fast/slow". What emerged after an afternoon of trials building a variety of gear boxes was their announcing two new "rules" that in <u>their</u> words were "slow-strong" and "fast-weak". The general construction strategy they said would be to make a "small wheel turn a big wheel". Substituting these new rules, for their previous rule "more gears - stronger", they built a car using very few gears that could easily climb a steep hill. After a short period of silence one of the boys said to no one in particular, "Is that what the textbook means by mechanical advantage?"

<u>Comment</u>. Over and over again we have found in this aspect of "educational robotics", where students construct their own computer controlled devices, that even in simple cases their "informal" and "school" knowledge needs to be re-examined in the context of the engineering problem at hand. The knowledge required for an obvious solution from the point of view of the adult, may well not be the knowledge that the student actually possesses for addressing the problem -- even if this knowledge has been

"learned in school". We shall return to this point again in the following anecdote involving the same group.

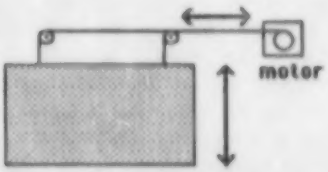
Anecdote 2 (Group a). Levers. After several sessions of work the three students started building devices of greater complexity. The drawing below illustrates one of the devices they were in the process of making.



This device was to be a derrick that required several components of motors, pulleys and strings for its operation. Only one of these components will be considered here. The problem arose about where would be the best place to tie string A on beam B so that the motor in turning would wrap or unwrap a string around a drum, thereby lifting or lowering the beam (B). Despite the fact that all three students stated they have studied levers, and had "done lever problems in school", they all agreed that the "best place to tie the string is at the middle of the beam" (B). Trials showed that this arrangement worked, and all discussion whether the middle of the beam was the best place to tie the string was dropped.

Comment. When asked why they thought the middle of the beam was the best place to tie the string, they answered that in school they had learned that the middle of a beam is the balance point (fulcrum) and so that's where the string should be tied.

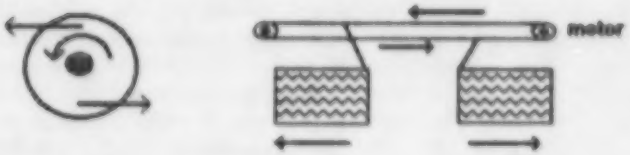
Anecdote 3 (Group b). **Pulleys.** In building a robot theater the students had to devise a number of prototypes for various components of the theater -- opening and closing a curtain, the building of marionettes, etc. One component was the building of a device with a motor that would lift and lower styrofoam panels that would be used for different background scenes. The group responsible for building this component agreed that one strategy would be to use a motor, that would wrap a string around a drum and the pulleys would lift or lower the panel depending on the direction of rotation of the motor. These students stated they "knew all about pulleys" since they had studied these in their science class. Their first attempt did not work. The solution proposed was "we need to add more pulleys". Successive attempts of adding more and more pulleys finally resulted in a tangled network of strings and pulleys that totally jammed. When the point came that students suggested that the solution was to "add somemore pulleys" we intervened with the following solution using two pulleys.



Comment. We have observed an number of instances over the years, that when a proposed student solution does not work, their strategy is to use "more" components. (More gears, more pulleys, more motors, more electricity, etc.).

Anecdote 4 (Group b). **Rotation.** A second group of students working on prototype components for the theater was trying to figure out how to open and close a split curtain by means of a motor. The basic dilemma was that in opening a curtain one half of the curtain should move to the left, and at the same time the second half should move to the right. Some of the group insisted this would require two motors. However, to close the curtain, they stated would also require two other motors, so four

motors were required to solve this problem. We challenged them to solve this problem with one motor, guiding them in the adoption of a solution based on the principle of rotation.

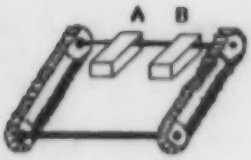


General Comment

The above four anecdotes illustrate that when students are placed in a situation where they have to create solutions to "engineering" -type problems, both their informal and school knowledge has to be reworked in the context of the problem at hand. Some of their attempted solutions may be based on misconceptions, or the improper extension of a piece of knowledge, or the failure to apply correct knowledge to the problem context. At other times they will opt for a complex solution (the "more" strategy) when the application of a simple principle would have been adequate. This is not to suggest that students do not invent clever solutions on their own. But these anecdotes will perhaps serve to alert teachers attempting experiences in pedagogical robotics, where students construct their own devices, that intervention strategies need to be invented when students find that things do not work, or they claim something is "impossible".

4.2 Students "engineering" design problems and trouble- shooting

Anecdote 5 (Group a). **Transmission of torque.** One of the boys in the group had seen a picture in a LEGO booklet of a "tank", and the group decided to build this device. Since no plan for its construction was provided in the booklet they had to invent their own mechanism. The basic plan, illustrated below,



was to place in the front a long shaft to which were connected two large gears, a caterpillar type track, two motors with worm gears that each turned a gear connected to the shaft. The rear construction was one long shaft, two gears at each end to which the caterpillar track was attached. The motors were connected to a computer interface box, and LOGO primitives written to ADVANCE, BACKUP, TURNRIGHT and TURNLEFT. Their programming procedures carried out the following actions of the two motors (A and B):

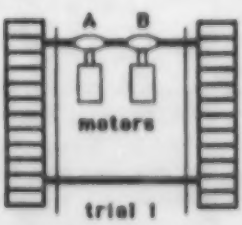
ADVANCE A clockwise, B clockwise;
BACKUP A counter-clockwise, B counter-clockwise;
RIGHTTURN B clockwise;
LEFTTURN A clockwise.

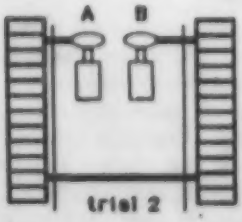
Typing ADVANCE or BACKUP worked as predicted. However, to their considerable surprise either RIGHTTURN or LEFTTURN would turn on the correct motor, but the tank would block without turning. Clearly this is a situation that required trouble-shooting. The first idea was that this was a programming problem, that is, the LOGO procedures had not been correctly defined for RIGHTTURN and LEFTTURN. These were changed to RIGHTTURN A clockwise; LEFTTURN B clockwise. However, with these new definitions the tank would still block and not turn. The next proposal was that the problem is in the wiring, that a wire was loose somewhere. All connections were rechecked, and screws holding the connections were retightened with a screw-driver. This resulted in no change in the performance of the tank. They then proposed that the trouble was mechanical, that is, the four wheels (gears) to which the track was attached were rubbing and this prevented that tank from turning left or right. The front and rear shafts were removed and replaced by longer

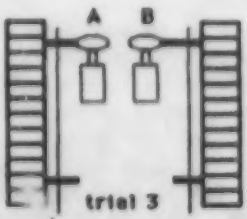
shafts "so that the wheels will stick out more from the side". This did not produce any improvement. At this point they said they would take the whole tank apart and start all over again.

When faced with a difficulty, and after having tried various modifications, it appears to be a common strategy of students to "start all over again" without any further analysis of the situation. In this case, before jumping to taking the tank apart, they were asked to trace each component with their fingers to see what happens when motor B is turned on.

This produced immediate results -as they saw that if motor B turns, the connected gears turn the front shaft, but Motor A is turned-off, and this prevents the shaft from turning, resulting in a blockage. Therefore, they stated, the single front shaft needs to be separated into two smaller shafts, and the two motors must be independent. The tank was rebuilt (see diagram **trial 2** below) and triod again with RIGHTTURN and LEFTTURN. To their dismay the tank again blocked.







Spontaneously they again retraced what happens when motor B is turned on, and found that the right front half shaft turns, the right front wheel turns, the right track turns, the right rear wheel turns, the back shaft turns, the left back wheel turns, the left track turns, the left front wheel turns, the left front half shaft turns, but motor A is turned-off, and this blocks the rotation. The solution was immediate, "The two sides have to be independent". The long back shaft was replaced by two smaller shafts (**trial 3**). All four of their procedures now worked. They found that by writing a procedure for turning motor B clockwise and motor A counter clockwise at the same time, the tank would spin. They stated, "The tank is now a turtle" (as a LOGO turtle that pivots) and wrote procedures for SPINRIGHT and SPINLEFT.

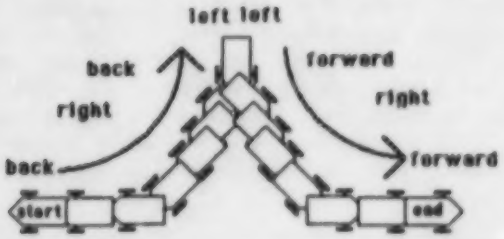
Comment. It would appear that a conscious effort needs to be made to encourage students to trouble-shoot and to "debug" their devices, without necessarily restarting (rebuilding) from zero. This holds as much for device construction as for computer programming.

4.3 The representation of movement in two and three dimensional space

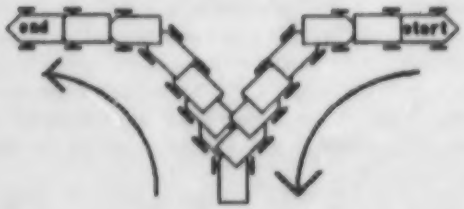
A complex topic in "educational robotics", that can only be touched briefly here, is the problem of the representation of movement in a plane or in 3-d space. Two anecdotes will be given.

Anecdote 6 (Groups a, b, c). **Motion in a plane.** The first concerns a "car" (built with LEGO blocks) that can move forward/back and whose front wheels turn right/left. Four ANDROID application words were written: **B** back, **F** forward, **R** right and **L** left. The following problem was presented to 11 and 12 year olds. "A car is parked on the left facing a wall". Write a program using these words (**B F R L**) so that the car can be parked facing a wall on the right.

The four ANDROID words were designed in such a way that one possible solution could be accomplished as illustrated below.



After some experimentation children found that typing the string **B R B L L F R F** would park the car as required. They then wrote a new word (such as **PARK**) to carry out this action. Assuming the new word was **PARK**, the following question was then asked, "Suppose you type the word **PARK** again, now that the car is on the right, show with your finger the path the car will follow". All of the 20 children to whom we have posed this question retrace with their finger the same path that the car originally followed. When asked to retype the word they are astonished to find that the path on the retyping of **PARK** is as illustrated below.



At this point children are asked to write another procedure (**REPARK**) that, when executed, will have the car when on the right follow the <u>same</u> path as the word **PARK** for the car when on the left. Both younger (11-12) and older (15-17) academically able students eventually

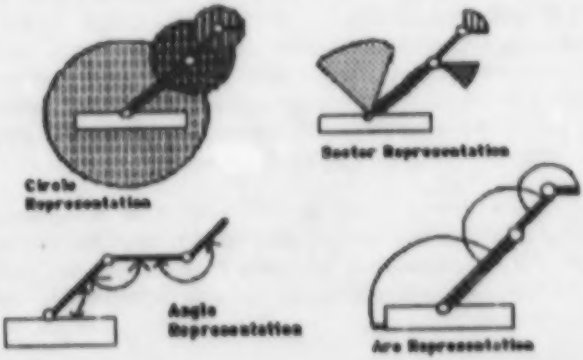
solve this problem by finding that in the **PARK** string, **B R B L L F R F**, one need only replace each left by a right, and each right by a left to produce the string **B L B R R F L F** to produce the **REPARK** string. However, the analysis that leads to this solution by these two age groups seem to be very different. The younger students analyze the situation only in terms of wheel turnings and substitutions on the basis of trial and error, while the older students construct a spatial representation of the problem situation, which boils down to a 180 degree rotation of the car. Hence the analysis and solution of the older students, is given in terms of finding a way to make the car rotate 180 degrees, which is seen as the basic problem to be solved. The younger students analyze the problem in terms of wheel turning substitutions that work, but have great difficulty in explaining why this solves the problem.

Comment. The notion of spatial representation is so fundamental to "educational robotics" that the whole matter is wide open for exploration and research. The above anecdote only hints at the complexities involved. The final anecdote given below illustrates, an even more complex spatial representation problem.

Anecdote 7 (Groups a, b and c). **Motion of a robot arm in 3-d space**. We have worked with different age students using the Fischer-Technik Training Robot that we have rewired to be compatible with the Caméléon computer interface. This in turn enables us to create a simple application language, written in ANDROID, that can be used even by very young children. To simplify the discussion and diagrammatic representations here on paper, we will project onto two-space, the arm movements of a hypothetical three "lever" robot, all of whose movements are rotations about an axis. It must be realized that all the actual problem solving activities with students were obviously carried out in three dimensions.

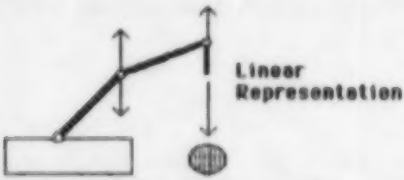
It is perhaps equally obvious that in proposing problem solving activities to children, using a robot arm, there is no question of employing the mathematics for calculating "space envelopes". We may assume that children will create and use their own forms of spatial representation, and

we may speculate what these representations might be. Arm chair speculation might lead us to suspect that in solving problems with a robot arm whose movements are rotations, children might think in terms of a "circle", or might focus on the sweep of a "sector", or use the internal or external "angles", or represent motions in terms of an arc.



To explore this matter we have posed what appears to be a very simple problem, and children at first express considerable confidence they can solve it. We simply ask them to write a program to have the training robot pick up an object. They have at their disposal an application language, written in ANDROID that permits them to direct the motions by writing ordinary sentences in natural language form. This permits them to focus on the motion problem at hand, and not be concerned with the problem of writing complex computer code following the conventions and syntax of usual computer languages. The analysis of the motions required to pick up an object turns out to be a very difficult and frustrating problem for the typical 11-12 year old. To summarize what has required a long process of analysis, children will program the Training Robot, as if all movements were linear. That is to say, it would appear from an analysis of the programs they write that their spatial representation is in terms of linear orthogonal coordinates, and not in terms of "circles", "arcs", "sectors" or "angles". While a mathematician would probably have recourse

to a spherical or cylindrical system, it seems children analyze the problem in linear terms, as for example, in linear up and down motions as below.



When asked to show with their fingers how parts or the robot arm moves, they will trace "in the air" paths that suggest "arcs" or "angles". Returning to the problem situation they will continue to plan programs as if, "everything moves in straight lines". We do not know at this point in time if children after considerable experience working with a robot arm will shift to other modes of spatial representations. We have not as yet explored these matters with older students or adults. As in the case of 2-d spatial representation, the problem of 3-d spatial representation in educational robotics is wide open for exploration and experimentation

5. General concluding remarks

Given the wide range of current activities it is difficult, and perhaps unnecessary, to define the growing area of "educational robotics". There are technical ("robotics") aspects involving computers, external "devices" of great variety, matters of interfacing the computer and the devices, computer programming, human interfacing, and so on. The "educational" part is less clear, although it is very easy to make claims. The anecdotes presented here are intended to call attention to the need to explore "educational robotics" from the learners point of view. "Educational Robotics" enables the construction of new micro-worlds where learners can test out and reconstruct their knowledge and knowledge representations, devise problem solving heuristics, invent strategies of what to do when "nothing works", and have hands-on

experience with problems that are "engineering" in nature rather than merely "textbook" symbol manipulation problem solving. To the ingenious technical developments, we must add questions about what is learned and how knowledge may be enhanced.

6. References

BÉLANGER, M. et LA PALME, J.-B. (1989). "Recent Developments in Educational Robotics". Taller Andino en Sistemas Expertos y Robotica. **Actes de la conférence internationale sur les systèmes experts et la robotique**. Universidad EAFIT, Medillin, Colombia.

LA PALME, J.-B. et BÉLANGER, M. (1990). **Introduction à la Robotique Éducative avec le Langage Androïde**. (English edition: **Introduction to Educational Robotics with the Android Language**). Éditions Micro-Éduc, Montréal.

LA PALME, J.-B. et BÉLANGER, M. (1990). **Langage Androïde Module de Robotique Éducative, Manuel de Référence**. (English edition: **The Android Language for Educational Robotics, Reference Manual**). Éditions Micro-Éduc, Montréal.

Notes

1 - All experiences described here were conducted using the Caméléon, Inc. interfaces. Programming was done in LCSI LOGO and the ANDROID language of Micro-Éduc, Inc.

2 - NOVAK, Joseph (Ed) Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. (Second International Seminar), Cornell University, 1987.

3 - See the paper by Jean-Baptiste LA PALME in this volume.

SIXIÈME PARTIE

ANALYSE ET RÉFLEXIONS SUR LA ROBOTIQUE ET SES APPLICATIONS

ENSEIGNER ET APPRENDRE PAR LA ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE: QUELLES QUESTIONS SE POSER?

Martine CHOMIENNE
Centre québécois de recherche sur les applications pédagogiques
de l'ordinateur (APO QUÉBEC)

Résumé

Depuis ces dernières années, de nombreuses applications de robotique pédagogique ont cours dans les écoles de la province de Québec. Les fondements théoriques en sont cependant encore mal définis. Une étude exploratoire des expériences sur le terrain nous a menées dans trente-neuf écoles primaires et secondaires. Une des premières conclusions de l'étude est que les chercheurs en éducation devraient élargir leurs bases conceptuelles pour mieux refléter la richesse des applications sur le terrain. À cette fin, cet article expose les avenues de recherche à entreprendre pour mieux comprendre et connaître le potentiel pédagogique de la robotique.

Abstract

For the past few years, educational robotics has been fashionable, but specific literature on the domain remains scarce. To help fill that need an exploratory field study was conducted in thirty-nine primary and secondary schools in the province of Quebec. A principal finding is that educational researchers should considerably enlarge their conceptual perspectives to better reflect the actual developments in the field. Taking this into account, the paper advocates several kinds of further studies likely to enhance our understanding of educational robotics.

1. Introduction et problématique

Le potentiel pédagogique de la robotique est en pleine exploration. Au Québec, les applications dans les écoles prolifèrent; enseignants, directeurs d'école, administrateurs s'y engagent; le milieu scolaire s'approprie cette nouvelle technologie alors que les activités pédagogiques qu'elle génère diffèrent de beaucoup des activités scolaires habituelles, et que le phénomène est encore mal connu. En effet, il existe peu de littérature théorique sur le sujet, comme nous avons été amenées à le constater par une recherche bibliographique informatisée effectuée dans les principales banques de références en éducation. Les articles recensés se limitent souvent à de simples descriptions d'applications empiriques menées par des enseignants désireux d'explorer les possibilités d'un nouvel environnement d'apprentissage (Friedman, 1986; Lacasse, 1987; Lacroix, 1986; Mainville, 1983; Noël, 1989; Pelchat, 1989; Shaw, 1989; Tremblay, 1985). D'autres articles, sont des descriptions détaillées du contenu et des méthodes d'enseignement et d'apprentissage de modules de robotique (Buckland, 1985; Jones, 1987; Seaman et Stack, 1985; Sharon et al., 1987). Il s'agit alors d'ensembles didactiques prêts à être utilisés par l'enseignant dans sa classe.

Quelques auteurs (Brown, 1985; Nonnon, 1987; Vivet, 1989) mettent l'accent sur les caractéristiques pédagogiques propres aux systèmes robotisés; cependant il semble qu'aucune recherche systématique n'explore l'impact de ces caractéristiques.

C'est pourquoi nous avons entrepris[1] un recensement des expériences de robotique qui ont cours dans les écoles, afin de tracer le portrait de la situation de la robotique pédagogique, de caractériser et différencier les approches pédagogiques préconisées, les objectifs visés, les apprentissages réalisés. Mais ce bilan a aussi mis en évidence un certain nombre de résultats ayant des implications prometteuses pour donner des fondements théoriques à la robotique pédagogique. Ce sont ces résultats et leurs implications qui font l'objet du présent article.

2. Méthodologie

Pour recenser les expériences de robotique pédagogique ayant cours dans la province de Québec, nous avons procédé en plusieurs étapes.

Une première rencontre avec des représentants de compagnies engagées dans le développement de matériel de robotique pédagogique (interfaces ou documents éducatifs), et quelques enseignants déjà bien impliqués dans des applications pratiques de robotique nous a permis de développer un questionnaire, envoyé par la suite aux responsables des applications pédagogiques de l'ordinateur des 213 commissions scolaires de la province.

En raison de la pauvreté de la littérature dans ce domaine, nous avons choisi de ne pas donner une définition de la robotique pédagogique avant la collecte des données. Nous souhaitions recenser toutes les expériences que les praticiens désignaient sous le terme de robotique pédagogique. Nous pensions à l'issue de l'étude être en mesure de proposer une définition tenant compte de toutes les expériences recensées.

Le recensement des données s'est fait entre février 1989 et juin 1989. Au total six catégories d'intervenants ont été contactées. Nous avons observé 15 groupes d'élèves dans 11 écoles, interviewé 25 enseignants ou conseillers pédagogiques, 3 directeurs d'école, 3 chercheurs et 6 présidents de compagnie. Ces données ont été ajoutées à l'analyse de 55 questionnaires décrivant 39 projets en cours dans 27 commissions scolaires, 11 projets déjà terminés et 15 nouveaux projets en élaboration pour leur implantation à l'automne 1989.

Une analyse quantitative des données fournit un portrait descriptif de la situation sur le terrain, et une analyse qualitative selon la technique de catégorisation des données de Miles et Huberman (1984), a permis de caractériser les expériences de robotique pédagogique[2].

3. Résultats

De tous les résultats du bilan, nous avons retenu ceux qui soulevaient des questions sur les méthodes d'enseignement de la robotique pédagogique et les impacts de son utilisation sur les apprentissages. Ce sont ceux qui nous semblaient les plus urgents à aborder alors que la pratique des applications de la robotique a tendance à se généraliser dans les écoles du Québec. Ils concernent les approches appropriées à l'enseignement de la robotique pédagogique ainsi que l'identification des apprentissages que l'élève réalise en interagissant avec un environnement de robotique.

Comme on s'y attendait, il existe une grande variété dans les applications sur le terrain de la robotique pédagogique; les applications sont plus riches que les descriptions trouvées dans la littérature; elles utilisent différentes approches pédagogiques et poursuivent différents objectifs d'apprentissage. Par exemple, certaines applications sont guidées par des principes qui mettent l'accent sur la participation active de l'enfant à son apprentissage, sur l'apprentissage par découverte (apprentissage inductif), alors que d'autres applications proposent une approche très structurée où les enfants avancent au même rythme selon un guide qui encadre fortement leur démarche.

On a également constaté que les enseignants disent régulièrement que la robotique pédagogique permet chez l'élève un apprentissage inductif de la méthode scientifique, le développement d'habiletés de résolution de problème, le développement d'habiletés transférables à des situations d'apprentissage ou à des situations plus générales et l'acquisition de notions en sciences et en mathématiques. On lui reconnaît aussi d'autres avantages tels qu'une motivation soutenue chez l'élève, le développement de son autonomie, etc.

En conséquence, ces résultats émergents du terrain révèlent des aspects de la robotique pédagogique qui ont été peu abordés dans les recherches recensées, en raison, entre autres, des faibles contacts existant entre le milieu des chercheurs et celui des praticiens mais aussi,

parce que pour étudier la robotique du point de vue de ses applications scolaires, il fallait que le milieu en ait une certaine pratique. Cette pratique est maintenant atteinte comme nous a permis de le constater le bilan que nous avons réalisé.

Les résultats permettent ainsi de suggérer les pistes de recherche suivantes.

4. Implications pour la recherche

Au terme d'une étude exploratoire empirique de la robotique pédagogique, les résultats ont montré que les chercheurs en éducation devraient élargir leurs bases conceptuelles pour mieux refléter la richesse des applications sur le terrain. En effet, comme la robotique pédagogique présente des aspects multidisciplinaires il serait bon d'emprunter à des domaines de recherche variés pour mieux connaître ses caractéristiques spécifiques et ses impacts sur l'enseignement et l'apprentissage. Ceci permettrait alors de mieux l'intégrer aux programmes scolaires.

C'est ainsi que les applications actuelles de la robotique pédagogique devraient être étudiées du point de vue de théories d'apprentissage différentes; par exemple, la robotique pourrait être explorée comme l'application d'une approche d'apprentissage par découverte guidée, demandant une participation active de l'apprenant (Bruner, 1966; Piaget, 1957). Mais elle pourrait également être étudiée comme l'application d'approches plus structurées mettant l'accent sur un apprentissage plus réceptif (Skinner, 1954). Ces deux approches devraient être comparées et contrastées en même temps qu'elles seraient étudiées en fonction des différents apprentissages auxquels elles conduisent (Romiszowski, 1981).

Le potentiel de la robotique pourrait être également exploré du point de vue des théories cognitives de l'apprentissage; par exemple, on peut étudier l'apport de la robotique comme aide-mémoire externe déchargeant la mémoire à court terme (ou la mémoire de travail) de son utilisateur. Nonnon (1986) par exemple a observé qu'une représentation

graphique sur support externe (en l'occurrence l'écran de l'ordinateur) lorsqu'elle est mise à la disposition de l'élève libère sa mémoire de travail lors d'activités de résolution de problèmes complexes.

On peut aussi rechercher si la robotique pédagogique favorise le passage d'un stade à l'autre du développement intellectuel de l'enfant. Dans le domaine de la physique, par exemple Nonnon (1987), Sourdillat (1985) et d'autres, pensent que la compréhension de phénomènes tels que ceux de gravité et d'accélération est améliorée lorque l'élève voit la chute d'un corps en même temps que se trace à l'écran la courbe traduisant mathématiquement le mouvement du corps qui tombe. La double représentation d'un même phénomène scientifique, sa représentation concrète (le mouvement) et sa représentation abstraite graphique (la courbe qui se trace à l'écran), permet-elle à l'enfant de passer progressivement d'un stade opératoire à un stade conceptuel de son développement intellectuel?

Pour permettre une meilleure intégration de la robotique dans les programmes scolaires, ses applications devraient être étudiées en fonction des contenus qu'elles véhiculent. Par exemple, en ce qui a trait aux mathématiques et à la physique, les notions spécifiques de ces matières transmises par la robotique devraient être identifiées, inventoriées et systématiquement évaluées, en considérant également les aspects affectifs de l'utilisation de la robotique dans ces mêmes domaines. Pour la même raison, il serait opportun d'étudier quelles stratégies pédagogiques enrichissent l'expérience d'apprentissage prenant place lors des activités. L'écart avec les disicplines plus formelles en serait alors réduit, mais ce travail impliquerait le développement préalable d'outils d'évaluation des apprentissages propres à la robotique pédagogique

Enfin, pour vérifier les intuitions et les affirmations des enseignants sur le potentiel de la robotique à développer des habiletés intellectuelles générales, il faut planifier des études évaluant les possibilités d'acquisition de telles habiletés et explorer systématiquement leur transfert à d'autres situations d'apprentissage et à des situations plus générales de résolution de problèmes. Une abondante littérature sur le

sujet du transfert existe déjà et servirait de cadre théorique à une étude appliquée à la robotique pédagogique.

5. Conclusion

À partir des résultats d'un bilan empirique des applications de la robotique pédagogique dans les écoles, nous avons proposé un programme de recherches touchant plusieurs aspects de la robotique pédagogique mais dont le but commun est de faciliter l'implantation de ce nouvel environnement pédagogique à l'ensemble du milieu scolaire. Nous croyons que la généralisation de cet environnement passe par l'identification des apprentissages formels réalisables grâce à la robotique pédagogique; nous croyons aussi que des stratégies d'enseignement spécifiques à cet environnement favoriseront également son implantation. De plus, l'identification de l'apport de la robotique pédagogique à l'apprentissage passe par son étude du point de vue des théories cognitives de l'apprentissage. Nous croyons enfin que ce programme de recherche pourra répondre à plusieurs des questions qui sont soulevées avec beaucoup d'à propos par le milieu scolaire.

6. Bibliographie

BROWN, J.S. (1985). "Process Versus Product: A Perspective on Tools for Communal and Informal Electronic Learning". **Journal of Educational Computing Research**, 1(2), pp. 179-201.

BRUNER, J.S. (1966). **Toward a Theory of Instruction**. New York: Norton.

BUCKLAND, M.R. (1985). "The 50-Minute Robot". **Science and Children**, 23(1), pp. 21- 22.

FRIEDMAN, M. (1986). "Attention all Humans: Robotics Literacy - Captivates Elementary Students". **Techtrends**, 31(1), pp. 12-14.

JONES, P.K. (1987). **A Mini-Curriculum for Robotics Education**. ERIC Report, 45 pages (ED 290 448).

LACASSE, C. (1987). "Un robot sympathique". **Vie Pédagogique**, 51, pp. 6-7.

LACASSE, C. (1987). "Un robot dans la classe". **Le Bus**, 4(3) , pp. 23-26.

LACROIX, D. (1986). "La robotique". **Association Enseignement Public et Informatique**, (45), pp. 157-160.

MAINVILLE, C. (1988). "À l'école Saint-Laurent de Buckingham: la robotique et l'intelligence artificielle sont implantées". **Vie pédagogique**, 57, pp. 14-16.

MILES, M. et MILES, H. (1984). **Qualitative Data Analysis: A source Book of New Methods**. Beverly Hills: SAGE.

NOEL, M. (1989). "La robotique à l'école Marguerite d'Youville de Cap-Rouge". **Le Bus**, 6(2), pp. 21-24.

NONNON, P. (1986). **Laboratoire d'initiation aux sciences assisté par ordinateur**. Montréal: Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal.

NONNON, P. (1987). "Acquisition d'un langage graphique de codage par la modélisation en temps réel des données d'expériences". **Proceedings of the 11th International Conference of Psychology of Mathematics Education**. Montréal: pp. 228-234.

PELCHAT, R. (1989). "La robotique pédagogique au primaire". **Le Bus**, 6(2), pp. 15-20.

PIAGET, J. (1957). **Logic and Psychology**. USA: Basic Books.

ROMISZOWSKI, A.J. (1981). **Designing Instructional Systems**. London: Kogan Page.

SEAMAN, V.A. et STACK, F.X. (1985). **Robotics Applications for the Curriculum to Reflect Technology**. San Diego: ERIC Report Department of Educational Research and Improvement, 33 pages (ED 255 654).

SHARON, D., HARSTEIN, Judah et FISHER, Martin. (1987). "The ORT Tech Robotics and Automation Literacy Course". **Programmed Learning and Educational Technology**, 24(3), pp. 200-210.

SHAW, D. (1989). "La robotique à l'école". **Atout Micro**, 2(7), pp. 20-22.

SKINNER, B.F. (1954). "The Science of Learning and the Art of Teaching". **Harvard Educational Review**, 24, pp. 86-97.

SOURDILLAT, F. (1985). **L'ordinateur outil de laboratoire et outil d'atelier. Des outils pour l'enseignement assisté par ordinateur**. Poitiers: C.R.D.P.

TREMBLAY, P.S. (1985). "Le robot, un prétexte dynamique". **Le Bus**, 2(5), pp. 5-6.

VIVET, M. (1989). "Robotique pédagogique! Soit, mais pour apprendre quoi?" **Premier colloque international sur la Robotique Pédagogique**. Le Mans, France.

Notes

1 - L'auteur remercie Marion Barfurth, chercheure à APO QUÉBEC pour l'intérêt de ses commentaires lors de versions précédentes de cet article.

- L'étude a été réalisée par Diane Lemire et Martine Chomienne. Le rapport complet intitulé: «La robotique pédagogique au Québec: bilan» est disponible sur demande au centre APO QUÉBEC, 2001 boulevard Saint-Laurent, Montréal H2X 2T3 , téléphone: (514) 849-1265.

2 - Les résultats détaillés de ces analyses ont été présentés à différentes occasions, voir entre autres, les Actes du premier congrès francophone de robotique pédagogique, Le Mans, août 1989.

LA ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE DANS LA FORMATION PROFESSIONNELLE DES TRAVAILLEURS

Jorge SANDOVAL CAVAZOS
Maestria en Sociologia del Trabajo
Universidad Autonoma Metropolitana - Mexico

Résumé

La formation professionnelle des travailleurs est un champ de luttes qui met en jeu tous les intérêts contradictoires et les paradoxes propres des différents groupes et classes sociales présents dans la production industrielle. La force de travail se trouve, au moins depuis une dizaine d'années, confrontée à un processus de changement technologique et organisationnel qui augmente ses rythmes de transformation et, par là, raccourcit la distance entre la phase de conception technique et celle de l'application productive. Il s'agit d'une période de restructuration qui stimule la création d'un espace d'expérimentation technique et organisationnel, ce qui introduit un haut degré d'incertitude dans la systématisation des processus productifs (1). Il y a certainement des tendances qui nous laissent entrevoir des champs de possibilités, mais nullement une voie inéluctable en ce qui concerne le futur aussi bien de l'organisation du travail que des contenus technologiques des procédés de production. Nous nous trouvons en face d'une sorte de concurrence entre projets techno-organisationnels qui sont encore à faire leurs preuves dans le nouveau contexte industriel au niveau mondial.

Il faudrait mettre en avant le fait que cette période d'expérimentation industrielle commence à peine et que, par conséquent, l'avenir peut revêtir le visage de l'espérance, c'est-à-dire que l'idée de l'avenir, comme dit Bergson, "est grosse d'une infinitié de possibles". Cette infinité de possibles concerne la dégénérescence des systèmes d'organisation du travail basés sur les postulats tayloristes et fordistes, et concerne

également l'introduction d'un nouveau type de technologie beaucoup plus intégratrice des fonctions liées à l'ordre productif.

1. Les enjeux de la restructuration de l'entreprise

L'entreprise des années 90 a certainement l'embarras du choix. Les propositions provenant de l'ingénierie industrielle la mettent devant une panoplie de moyens de "reconstruction" des processus de production aujourd'hui en crise. Ainsi, la voie de l'automation peut connaître encore des arborescences qui mènent vers des chemins qui intègrent de diverses manières la gestion, l'opération et la planification de la production (2). Le débat ne fait que commencer autour de la notion de "productivité" et, là-dessus, "japonaisistes" et "américanistes" se livrent à une bataille qui semble être favorable aux premiers. Aussi, la "technologie sociale" liée à la production, qui jusqu'aux années 70 était dans les mains des "business schools" nord-américaines, doit actuellement partager le marché des idées managériales avec les asiatiques, et notamment avec les japonais.

Ce qui est intéressant dans ce débat ce n'est pas tant la part de "raison" qui assiste chacune des parties mais le fait que l'on assiste à l'écroulement d'une des idéologies les plus puissantes dans le domaine de l'organisation capitaliste de la production. En effet, il est clair pour tous maintenant qu'il n'existe pas et que cela n'a jamais existé le "one best way" taylorien. Et cette conclusion n'est pas d'une portée moindre: elle touche non seulement le domaine de la pratique managériale même, mais aussi celui de l'analyse qui a été si rentable, académiquement et politiquement parlant, et qui est celui d'une certaine sociologie du travail que l'on peut trouver dans des courants de pensée comme ceux qui, donnant une interpré- tation très linéaire de la technologie, condamnait les travailleurs à une dépossession progressive de leur capacité d'intervention productive (3).

Mais s'il est vrai que l'on ne peut pas décréter la mort du fordisme, ce qui est certain, c'est que le fordisme n'est actuellement qu'une des possibilités de l'organisation productive, ce qui avait déjà été dit, entre autres, par Georges Friedman, il y a plus de 40 ans (4). La

parcellisation du travail ouvrier (ou plutôt du travail en général) est arrivée à ses limites. Mais, attention! Tout semble indiquer que l'institution productive de l'après-crise aura besoin d'une nouvelle organisation du travail adaptée aux nouvelles exigences du marché et aux potentialités des automatismes à venir. Pourtant, cette organisation du travail se trouve aujourd'hui au centre de la lutte pour la définition du visage futur des processus productifs. Mais alors, une des questions importantes est de savoir quels sont les enjeux de cette phase d'indéfinition, et qui est le mieux armé pour faire face aux défis de la restructuration de l'entreprise productive.

Si lutte il y a, celle-ci est contenue tout d'abord dans les projets concurrentiels provenant de la partie managériale elle-même. Il s'agit d'une lutte entre projets du même type: ceux qui recherchent la survie de l'entreprise et ceux qui recherchent sa réussite au sein du nouveau marché mondial. C'est une lutte entre technologues, entre gestionnaires, entre technocrates, c'est un certain type de savoir qui se trouve valorisé. On peut observer ainsi un courant de pensée qui prône une intégration des zones de production en rupture avec les présupposés tayloriens et fordistes, et cela dans le sens de permettre une configuration du travailleur collectif beaucoup plus intégrée et responsable d'un espace plus étendu des processus productifs. Cela ne va pas sans "risques" pour une organisation qui s'est, dès l'origine, fondée sur une conception autoritaire du contrôle productif et sur une division du travail qui faisait de la hiérarchie son meilleur atout fonctionnel. Ces risques sont liés à l'ouverture d'un processus de construction ou de reconstruction de l'espace productif. Espace qui est le point d'articulation entre trois différents processus: 1) celui de la transformation technologique des systèmes productifs; 2) celui de l'organisation du travail; et enfin, 3) celui de la structuration du marché du travail.

Pour les directions des entreprises et, en général, pour le mouvement de restructuration productive d'inspiration patronale, le défi est double: flexibiliser la structure productive et, en même temps, conserver le contrôle aussi bien du processus de transformation que de la nouvelle structure ainsi créée. En d'autres termes, c'est l'orientation du

automatismes et de l'informatique industrielle, dans l'enseignement général, au niveau des collèges.

Les compléments aux programmes et instructions de mai 1986 en précisent les objectifs et les limites.

Trois points nous paraissent particulièrement importants :

- L'affirmation que la technologie est une discipline d'enseignement général n'ayant AUCUN objectif préprofessionnel et donc que l'objet ou le système réalisé n'est que le moyen et non le but de cet enseignement.

- L'affirmation que la technologie a un rôle privilégié pour l'intégration des connaissances acquises dans les autres disciplines permettant de développer l'esprit d'analyse qui implique rigueur et précision de la pensée ainsi que l'esprit de synthèse nécessitant l'utilisation adéquate d'outils scientifiques.

- L'affirmation que la technologie est la matière qui permettra le mieux la liaison école-société et donc la nécessité de faire constamment apparaître les relations existant entre la méthode utilisée et les pratiques sociales de référence, en se situant dans une perspective historique du développement socio-économique des techniques.

En ce qui concerne plus particulièrement les automatismes et l'informatique industrielle l'accent est mis sur l'importance de la mise en évidence des parties commandes et opératives ainsi que sur le rôle des interfaces.

Les systèmes étudiés ou réalisés doivent être capables d'actions effectives mais en se limitant à des actionneurs électriques de faible puissance alimentés en basse tension.

Ces systèmes sont souhaités modulaires afin de faciliter les initiatives et de varier les démarches pédagogiques.

L'introduction aux systèmes séquentiels permettra la mise en évidence des concepts qui s'y rattachent et en particulier la notion de GRAFCET.

2. Les principaux concepts mis en jeu

L'approche systémique d'une machine automatique impose les concepts de:

- FONCTION, concept associé à tout objet technique dans ses deux acceptions de fonction d'usage et de fonction organique.
- INFORMATION, puisque l'informatique est le traitement automatique de l'information, aussi bien dans la forme de ses échanges que de son traitement.
- ÉNERGIE, pour que la "machine" soit réellement opérationnelle, en prenant l'énergie dans son aspect "consommable", qu'impose l'alimentation de systèmes.
- COMMUNICATION, concept associé à la circulation de l'information.

La création d'un automatisme par éléments modulaires est un projet qui ne permet pas de recouvrir tout le champ d'application de tels concepts mais qui présente des champs privilégiés pour chacun d'eux. En ce sens et conformément à l'aspect pluridimensionnel d'un concept, l'étude des automatismes permet la construction simultanée de plusieurs aspects de ces concepts:

La partie commande pour le concept d'INFORMATION.

La partie opérative pour le concept d'ÉNERGIE.

L'interface pour le concept de COMMUNICATION.

Le système et ses parties pour le concept de FONCTION.

3. Remarque à propos du concept de fonction

Dans le domaine éducatif et plus particulièrement dans l'enseignement général, suivant que l'on se place du point de vue de l'apprenant ou du point de vue de l'expert la fonction principale de l'objet technique est fondamentalement différente.

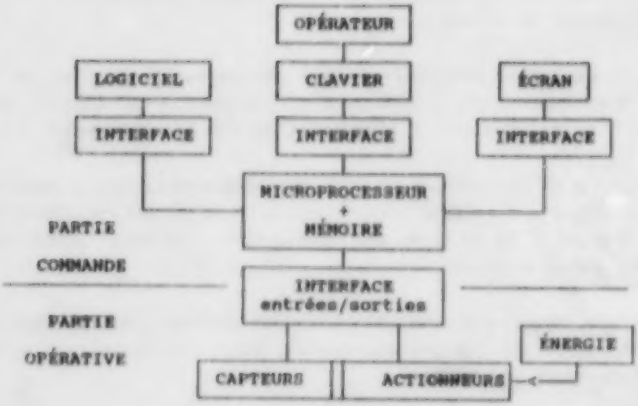
Pour l'apprenant, la fonction principale de l'objet est sa fonction d'usage: le système répond ou ne répond pas au cahier des charges.

L'expert à une vision de la fonction de l'objet à un niveau très différent. C'est aussi une fonction technique mais celle-ci se pose comme la participation ou non de ce projet à la construction de savoirs et/ou de savoirs-faire pour l'apprenant programmés dans un cahier des charges non proprement technique mais didactique.

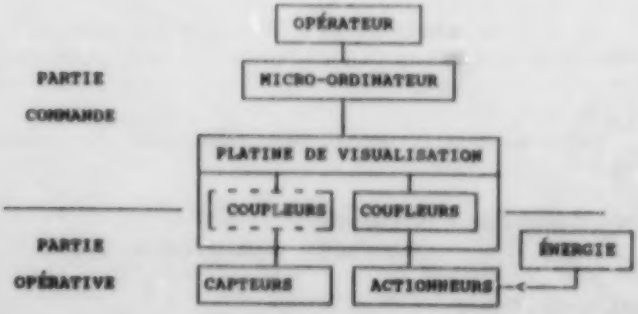
4. Éléments de la transposition didactique

- État de la référence industrielle: Les automates programmables industriels sont des systèmes mécaniques organisés autour d'un microprocesseur qui gère des déplacements de pièces ou d'outils. Ces mouvements sont des compositions de translations et de rotations obtenus par l'intermédiaire d'actionneurs tels que des vérins ou des moteurs. La prise d'information extérieure est réalisée par différents types de capteurs mécaniques, électriques, magnétiques, de pression, etc... Le langage de programmation est spécifique à un concepteur donné ou à l'application désirée .

Un schéma du modèle industriel peut être le suivant:



- Schéma du modèle proposé aux apprenants:



Les champs d'application des différents concepts mis en jeu sont précisés par ce schéma.

La partie commande formée du micro-ordinateur et de la platine de visualisation de l'interface peut, par des manipulations et des expérimentations, participer à l'élaboration du concept d'information.

La partie opérative associée aux coupleurs permet la mise en place de situations problèmes mettant en oeuvre le modèle circulatoire du courant électrique et sa dimension énergétique; obstacle repéré des situations d'apprentissage.

La liaison entre ces deux blocs fait apparaître des supports de communication variés tels que champ magnétique (relais) ou onde lumineuse (opto-coupleurs).

Quant au concept de fonction, la solution apportée à chaque étape de l'analyse de la situation problème participe à sa construction .

5. Les objectifs de formation

Deux concepts nous ont paru primordiaux à la compréhension d'un système automatisé ce sont ceux d'INFORMATION et de COMMUNICATION.

Nous avons donc favorisé dans notre travail deux liaisons essentielles:

PARTIE COMMANDE - INTERFACE
INTERFACE - PARTIE OPERATIVE

6. L'ingénierie didactique

Elle est constituée de systèmes modulaires. Dès les premiers travaux du groupe de recherche nous avons envisagé la mise au point d'un matériel utilisable sur les micro-ordinateurs en dotation, des Tomson MO5

et TO7. L'évolution du matériel disponible dans les collèges nous a conduits à mettre au point une interface huit entrées - huit sorties simple à manipuler avec l'aide de collègues universitaires du Groupe de Recherche sur l'Énergétique des Matériaux Ionisés (G.R.E.M.I.).

Des maquettes visualisant des parties opératives telles qu'afficheur sept segments, feux tricolores ou relais et inverseurs à relais permettant la commande d'un moteur en courant continu complètent ce matériel didactique.

7. L'exploitation pédagogique

Nous pouvons distinguer deux étapes essentielles:

7.1 La gestion de l'information à l'aide de l'interface

Elle nécessite la simple utilisation de deux instructions d'un langage informatique, l'un pour la gestion des sorties, l'autre pour la gestion des entrées.

Trois situations exemples vont favoriser l'apprentissage de la gestion des sorties:

- La mise en évidence de la relation de l'instruction dans le langage informatique avec l'état des sorties par la visualisation de ces états à l'aide de diodes électro-luminescentes .
- La gestion combinatoire de ces sorties par la commande d'un afficheur sept segments.
- La gestion temporelle de ces sorties par la commande de feux tricolores introduisant la notion de séquentialité.

La gestion des entrées et donc la prise en compte d'informations extérieures au micro-ordinateur sera abordée par la possibilité, d'un lancement de programme par une instruction hors clavier, ou par la modification de son déroulement dans le cas par exemple de la création d'un appel piéton lors de la gestion de feux tricolores.

7.2 La communication à l'aide des maquettes

Nous avons choisi le relais comme élément de communication plutot que le photocoupleur en raison de la transparence technique, de la robustesse et de la simplicité d'utilisation de celui-ci.

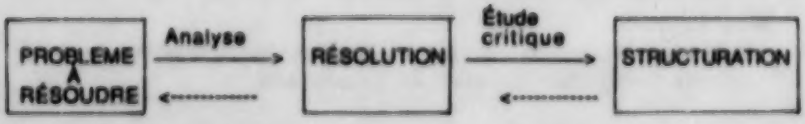
Nous en proposons une étude technologique permettant une caractérisation du support de communication, ici l'électro-magnétisme.

8. Le modèle pédagogique choisi

Lors de chaque activité l'élève est confronté à un problème à résoudre. Il doit en proposer une solution rédigée en langage transparent pour en produire ensuite une traduction plus abstraite mais plus synthétique sous la forme d'un graicet et en dernier lieu en réaliser la programmation.

La comparaison des différentes productions d'élèves permet d'étudier les différents algorithmes de résolution utilisés et de par leur confrontation et leur analyse de juger du degré de leur pertinence.

L'analyse du problème à résoudre, la construction d'une solution et enfin la structuration de ce nouveau savoir par son étude critique sont les trois étapes qui se dégagent de cette démarche.



9. L'expérimentation et la conclusion

L'expérimentation a débuté dans le courant de l'année scolaire 1989-1990 et s'est déroulée dans quatre collèges de l'agglomération Orléanaise sous la responsabilité des enseignants.

Il nous a fallu d'abord former sept enseignants expérimentateurs à l'utilisation des matériels utilisés pour l'expérience, puis créer avec eux les fiches pédagogiques lors de l'année scolaire 1988-1989.

Il ressort des premiers résultats une grande motivation des élèves pour ce type de travail et une approche très constructive des problèmes qu'il faut résoudre.

Cependant l'important travail de mise au point des maquettes didactiques, la formation des expérimentateurs et la création des documents élèves n'a pas encore permis la construction d'outils d'évaluation fiables qui conduiront à une analyse approfondie de l'expérimentation.

Le groupe technologie se consacre actuellement à la construction de ces outils. En particulier notre intention principale est de pouvoir juger de l'influence de ce type de travail sur l'évolution des attitudes des élèves face à des situations problèmes d'un niveau d'abstraction élevé par rapport à leur développement psycho-génétique.

10. Bibliographie

ASTOLFI, J.P. et DEVELAY, M. (1988). La didactique des sciences. P.U.F. Que sais-je. Paris.

COMBARNOUS, M. (1984). Les techniques et la technicité. Éditions sociales. Paris.

DEFORGE, Y. (1986). Technologie et génétique de l'objet industriel. Paris.

MARTINAND, J. Louis. (1986). Connaître et transformer la matière. Peter Lang. Genève.

MEIRIEU, P. (1988). Apprendre...oui, mais comment? E.S.F. Paris.

NOT, L. (1979). Les pédagogies de la connaissance. Privat. Toulouse.

VIENNOT, L. (1979). Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. Hermann. Paris.

TROISIÈME PARTIE

LA ROBOTIQUE APPLIQUÉE AUX PERSONNES EN DIFFICULTÉS D'ADAPTATION

DESIGN AND USE OF ROBOTIC MANIPULATORS AS COGNITIVE AND PHYSICAL AIDS FOR ORTHOPEDICALLY DISABLED STUDENTS

Michel GILBERT
Rehabilitation Robotics Research Program
Alfred I. duPont Institute

Richard HOWELL
Department of Educational Policy and Leadership
The Ohio State University

Abstract

The design, development and testing of robotically-aided educational environments for persons with orthopedic disabilities has been ongoing since 1986. Successive generations of robotic tools have resulted in several prototype hardware and software systems that have been used successfully in field-based applications. This presentation will deal with certain aspects of the hardware and software design of these systems, issues in controlling robotic systems, and research issues from both qualitative and quantitative measures used to determine the impact of the system on the student's cognitive, affective, and psychomotor development.

1. Introduction and Background

Since the early 1980's, an active group of robotics researchers have been concentrating on the design and development of robotic assistive devices for use by persons with disabilities. As many of the individuals that formed the early target populations were adults, and the target applications were either in vocational environments or in living areas, the focus of intervention tended toward the performance of vocational tasks or activities of daily living (ADL). That is, they were designed to restore, or augment, functions and abilities in humans evidencing a manipulation-

related disabilities. A smaller group of these researchers began concentrating on the use of robots as educational assistive tools as early as 1986. This area actually overlaps both rehabilitation and educational robotics, requiring an in-depth look at the dynamics between these two areas (see Figure 1).

With a major effort being made to promote and enforce mainstreaming in educational systems, it is increasingly likely that educational robot systems will be used in environments having both disabled and non-disabled students. In developing these educational systems, it is vital that the needs of both populations be considered. The manipulator must be optimized for highly diverse applications and must be usable by individuals with widely varying abilities to interact with the system. Further, the educational robotic system should facilitate interactions between the student, the educator, and the environment of curriculum.

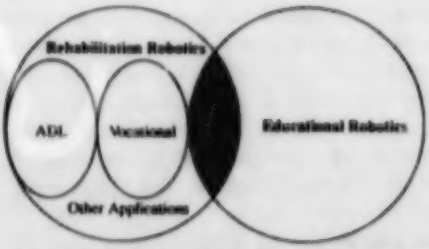


Figure 1: Relationship of Various Personal Robotics Areas Appropriate to Robot Control

Applications of Rehabilitation Robotics

The purpose of rehabilitation robotics is to provide an individual with disabilities an interactive aid to carry out personal, educational and vocational tasks, thus increasing his or her level of

independence (14). The robot, or *telethesis*, is physically remote from the user and controlled through some intermediate mechanism. This frees the design from anatomical constraints, allowing the development of a system designed and programmed for optimal functionality. The successful use of robotic devices as functional aids for individuals with disabilities has been demonstrated for a number of different environments including ADL, vocational, and educational applications.

ADL

Since independence in all environments is major objective of rehabilitation robotics, there is a natural interest in developing systems for ADL applications. This area of application is both desirable, and difficult to implement. Safety and reliability issues become vital when the telethesis is being used to perform tasks on the user (i.e. shaving, eating, etc.). The VA Rehabilitation R&D Center has developed a prototype ADL workstation based on the PUMA-260 robot. This station is voice controlled and designed to execute such tasks as feeding, brushing teeth, and clothing management (13). The Rehabilitation Robotics Research Program at ASEL is currently developing a new approach to providing analog control of a manipulator which potentially addresses many of the control and safety issues of an ADL environment (3, 17).

Vocational Applications

Using manipulators as assistive tools in the workplace has the potential for making previously unemployable persons self-supporting, or at least allowing them to contribute to their own financial support. A private company, PRAB Command, has developed and is currently marketing a vocational workstation designed around the RTX robot from United Maching Intelligence in England. The workstation is designed primarily for the office or professional environment and is voice controlled (5). Other groups developing vocational workstations include the Neil Squire Foundation (1), the Georgia Institute of Technology (9), and the Veterans Administration (19).

Educational Applications

A number of projects have developed systems for use in classroom settings. Work in this area has included research in the use of robotics as cognitive aids (11, 7), or as developmental aids for very small children (10); and includes efforts at Cambridge University, England (7), The Ohio State University (11), and Purdue University (18).

Robot Control

A major goal in developing rehabilitation robotic systems is to minimize the cognitive effort or *load* required to control the manipulator. When cognitive load has been reduced to the point that the user is focusing directly on the task, rather than on the telethesis being used to perform the task, the system is said to be *transparent*.

Figure 9: Cognitive Load and Flexibility in Control Strategies

Essentially, a telethesis can be controlled in one of three ways. *Direct control* allows the user to "drive" the robot as you would drive a car. The manipulator is seen as a replacement for the human arm, a functional extension of the person, who can directly control it to execute any given task. *Direct control* provides the user with maximum flexibility, but at the cost of an increased cognitive load.

Command control allows the user to command the robot to independently execute any of a number of pre-programmed activities. In *command control*, the robot can be seen as a replacement or supplement to a personal care attendant. The disabled user experiences a minimal cognitive load in controlling the robot, but cannot execute any task for which there is no program. Some flexibility can be introduced by

decomposing tasks into sub-tasks and programming these individually. Then a user can mix and match the sub-tasks to produce varying activities[1].

The third way to control a robot is to combine both *command* and *direct control* into a single system which allows the user to efficiently execute specific, repetitive tasks or portions of tasks, but to assume direct control for activities that are *not* pre-programmed, or to program new activities. This approach provides both flexibility and efficiency.

2. Components of a Modular Robotic System

Any robotic system intended for use as either an educational tool, or as an assistive device for individuals with disabilities must include a number of key components, including:

- user input
- feedback
- the robotic manipulator
- the task or application

Additional components are possible, but are not considered part of a minimal model.

User Input

The user must have one or more input media through which they control the robotic system. The type and combination of input medium will be conditioned by the specific disabilities of the user, and the required task and task objectives. Common input strategies include speech, discrete switch, joystick, or some form of analog position tracking system such as the 3SPACE Tracker from Polhemus.

---

1. Note that if this process is taken to its extreme, we begin to approach direct control!

Feedback

The effective execution of a task requires feedback at a number of levels. First, the user must be aware of the progress of the manipulator towards the completion of the task. Second, the user must be aware of the progress of the application towards the completion of a specific objective. Finally, error conditions must be detected and reported so they can be responded to. Feedback can take a variety of forms which can be combined or used individually.

The most obvious form of visual feedback is observing the robot itself in action. A second form of video feedback, could be provided via the computer terminal, or a specialized video device. Video feedback, however, inhibits the transparency of the task by requiring the user to focus attention away from the task at hand. Audio feedback can be used instead of or as a supplement to video feedback, thereby increasing the transparency of the task. Tactile and/or kinesthetic feedback is useful in robotics since it provides feedback to the user similar to the kind of feedback they would receive if they were performing the task with their own body.

A Robot

A variety of options are possible, and the robot should be selected with the target users and specific task or tasks in mind. The robot must have the physical capabilities required by the task at hand. This includes such things as payload, grasp capabilities, and the size of the work envelope. The robot must also fit unobtrusively into the environment. It should be as quiet as possible, and be aesthetically acceptable. Finally, the system should be reliable. It should require minimal maintenance, since the user is unable to execute repairs. This latter need is somewhat lessened by the presence of a teacher or therapist who may be able to perform elementary system maintenance.

The Application

Finally, the three modules (robot, user input, and feedback) are combined to perform a specific task or tasks. Coordinating the activity of

these three modules is also a specific application which must be planned for.

3. The Need for Modularity in Educational Robotic Applications

Applications for All Students

With the strong emphasis on mainstreaming students with disabilities into the normal life of the school, academic environments typically include both disabled and non-disabled persons. This impacts directly on the design of robotic applications in education. A student with no physically challenging conditions can function with any control strategy, practically any input device, and can respond to varying feedback styles. It is appropriate to take advantage of these capabilities. More inflexible strategies (such as command control) will limit their effectiveness and should be avoided. For example, the non-disabled user faced with a single-switch input control device and a selection system that uses scanning will soon be frustrated and lose interest. Since he or she is capable of generating a vast array of control signals, a direct control system is possible and should be made available.

Students with disabilities, however, are typically restricted in their ability to generate control signals. As a result, they must operate within a fixed subset of the available input device and feedback options. Further, the specific subset is largely determined by the nature of their disability. It is entire possible, even probable, that a single classroom will have a number of students with disabling conditions which differ dramatically, requiring differing input strategies and devices for each student. These students will not be frustrated with more limited control schemes, since these schemes enable them to do something they would not otherwise be able to do (i.e. manipulate their environment).

Clearly, an application which uses only a single control method will either restrict or inhibit the non-disabled student, or exclude the student with disabilities.

Variations in Learning

Variations in control strategy and task complexity may also be introduced by varying capabilities of the students within the classroom. Learning styles may be different from student-to-student, requiring a variety of alternative control methods.

System Costs and Continuity

Modularity can help address the problems of rapidly evolving technological innovation and spiraling costs. The rapid rate of change in technological development finds robots and all related hardware components having indeterminate lifetimes. If educational applications are married to specific set of hardware, they will need not to be revised with each change of any of the component modules. The resulting inefficient use of time, energy and funds will often find the innovation being relegated to the scrap file.

4. Designing a Modular System

The majority of existing robot control systems are designed around a specialized robot programming language (16). Although this approach may allow the designer to specify a robust set of commands with which to control a given manipulator, it also imposes the need to develop support for general I/O, basic and complex data structures, and essential mathematical operations. In short, this approach requires the designer to implement many of the features found in high-level computer languages, as well as robot-specific control features. An educational designer would then have to develop applications using this language, and would have to find creative ways to utilize existing support for a variety of specialized I/O devices.

An alternative to this approach is to use an existing, high-level computer language, such as C, to develop a series of software libraries which provide all of the necessary building blocks from which to design a robotic application (8). Use of a high-level language also facilitates the

definition of a standard interface between the key components of a robotic application: user input, feedback, robot, and application. The application can then draw upon the resources of varying modules, which implement the standard interface, for each individual component. It would also make the development of pre-formatted templates for specified activities easy for second- and third-party developers.

The Rehabilitation Robotics Research Program at ASEL is currently developing a series of modules which conform to this approach (6). A robot interface has been designed which defines standard commands necessary to provide control over a manipulator. The functions which make up this interface include two features important for either a rehabilitation or educational system. First, they are interruptible. Numerous entry points are provided which allow the user to generate signals that will arrest the motion of the system. This is an important safety consideration for these powerful systems. Second, they support varied sensor implementation. Although not a required component, sensor technology is often and usefully employed. These functions have been designed to facilitate the inclusion of such technologies at a later date.

5. Researching Robotic Interactions

An important aspect of the design and development of rehabilitation robotics projects is the researching of the cognitive, affective and psychomotor effects of such use. There are currently available two distinct research methodologies for use in robotics investigations, and a case can be made for the mixing of both these methodologies in new educational environments. Each of the basic and the composite approaches will be discussed briefly.

Quantitative Approaches

There are a variety of specific aspects of the robotic environment which enable quantification through the use of quasi-experimental methods (2). These methods are generally employed in order to investigate specific questions related to the cognitive and

psychomotor effects associated with using robots. An example of a research question originally posed to guide the research imitative in quantitative analysis is, *"What are the specific relationships between using the robotic arm and the cognitive, affective and psychomotor skill development of physically disabled students?"*

Qualitative Approaches

There is a real need to provide a broad, rich description of these emerging technological environments that are qualitative in nature, utilizing what are known as "naturalistic inquiry methods" (15). This method was employed in order to describe and interpret the interactions of the student, robot, trainer and materials in the educational robotic environment. The primary method used to examine this phenomena is field observation. Before entering the field, a preliminary research question guiding the observation might be, *"What is the nature of the interactions between the student, robot, trainer and materials when engaged in a series of educational and recreational activities?"*

Mixed Methodological Approaches

The initiation of a new research agenda involving emerging robotic applications might best be investigated using both methodologies; determining specific issues of interest to the research team using a quasi-experimental approach employing pre-test and post-test performance differences; and more global interactional questions being answered using a naturalistic research approach.

Rationale for Using a Mixed Methodology

- The combination of approaches promised to provide a rich and varied picture of the unique robotic environment.
- The complimentarity of methods enabled the collection and analysis of integrated and triangulated data.
- In this manner, the combinations of methodology allowed each method to reveal its own unique perspective of the robotic activities and impact.

6. Research Questions Using Mixed Methodologies

The following section related a specific application of mixed methodological research currently being undertaken under the direction of the Educational Robotics Laboratory (ERL) at the Ohio State University (OSU). The example is meant to demonstrate how specific and global questions can be answered using a variety of investigative tools, procedures and personnel.

Quantitative Data Gathering

The key research questions that were asked in this area include:

Research Question #1: "What are the effects of using robotic manipulators on student's ability to mentally manipulate both concrete and abstract objects in multi-dimensional space?"

Research Question #2: "What are the effects of using the adaptive switch input device, monitor and robot on the student's ability to cognitively map, and mentally automatize, the key operating features of a robotic environment?"

Research Question #3: "What effects does use of the robotic manipulator have on the overall speed and accuracy of input attempts by the physically disabled user?"

The tests below have been selected for use in data gathering in the ERL/OSU research design. The identification and development of these measures revealed a paucity of reliable, field-validated instruments and evaluation methods for testing performance changes in disabled users. As some of the only instruments available for use with the disabled, they should be viewed as initial attempts at the development of a more reliable set of tools for research and evaluation attemps.

Space Visualization Tests form the Southern California Sensory Integration Tests. Designed to test the first quantitative research question. In the Space Visualization Tests, the stimulus materials include both concrete and three-dimensional objects. The test requires, and times, the

mental manipulation of the variety of stimulus objects. Most importantly, the format of test administration is adaptable to those students having poor motor control. A pre- and post-test administration pattern was used with the students in the robotics project.

Motor Control/Cognitive Mapping Test is a researcher-developed test designed to test the second quantitative research question. Each of the three "cognitive mapping" tests requires progressively more difficult spatial processing but maintains the same motor control effort in making a discriminable input. Two types of data are taken in all three tests:

- accuracy in pressing a switch on the 5- slot switch input device that corresponds to a menu item on the computer monitor, and
- time between the appearance of the stimulus and the press of the switch. A basic premise in this work is that the software menu should eventually become mapped in the user's mind so that referring to the menu and choosing the corresponding switches would reach various degrees or levels of "cognitive automaticity". "Cognitive Automaticity" is hypothesized to be a process where the mental load of using the software is decreased over time as the user practices and executes command sequences, memorizing the positions and sequences of commands. Basically, an "automatized" response is a skill that doesn't require a great deal of deliberate or focused mental attention, and which can simultaneously co-exist with other skills in the learner.

Single-Input Control Assessment (SICA) was developed by from the Hugh MacMillan Medical Center and is distributed by the Easter Seal Communication Institute. The SICA was administered to test for increases in the speed and accuracy of input using the adaptive input device. An underlying assumption here is that the most effective input device is one that permits the fastest and most reliable response to a visual stimulus. Basically, there are two measures in this battery:

- Response Task that measures the time it takes the student to respond to a visual stimulus by activating the input device, and also to measure the length of time that the input device is activated or held down; and
- the Autoscan Task is designed to test the student's ability to use an automatic linear scanning strategy (which is the strategy employed in

moving through our software). The task consists of repeated trials of selecting a target from among 5 items.

Qualitative Data Gathering

It became apparent in our early work that since there had never been a systematic investigation of the interactions that occur within a special educational or therapeutic setting with children that we should approach the setting from a broader perspective. This led us to the development of a qualitative design which sought to look for emerging patterns in the new robotic environment, rather that imposing our own assumptions on the setting, and its impact on the participants. In order to develop this information, a process of field observations, interviews, and journal entries were used to create a more global picture of the complex set of interactions occurring in an emerging assistive environment. The primary research question (as previously stated) was, "*What is the nature of the interactions between the student, robot, trainer and materials when engaged in a series of educational and recreational activities?*"

The methodological approach included the following:

- The Research Focus assisted the team in the initial identification of the emerging themes: training methodology, teacher/trainer characteristics, technology transfer, and curricular applications.
- A trained field observer used standardized protocol sheets to take field notes so that target questions for subsequent visits could be prepared.
- The sampling of data came from four sources: setting, people, events, and processes.

In general, there is a great need to conduct and report systematic examinations of the interactions occurring in the various robotic environments currently in the field. This would drastically reduce the amount of redundancy in design that is occurring in rehabilitation robotics and streamline new hardware and software designs.

7. Summary

The combined efforts of educators, therapists and engineers have led the rehabilitation robotics effort into the realm of educational applications for users with disabilities. The needs of these persons have resulted in a need for rethinking the demands of the control features and construction of software for using robotic devices in classrooms. The importance of the endeavor will yield new approaches to the design and development of more universal manipulators that are accessible by all students. Several efforts are focused at developing the base of information for researchers and practitioners who seek to use robots with the disabled including: the Applied Sciences and Engineering Laboratories, A.I. duPont; a new journal, "Journal of Artificial Intelligence in Education"; and the Robotics special interest group of RESNA, the Association for the Advancement of Rehabilitation Technologies. These new efforts foretell a vibrant and creative future for those persons interested in developing new robotic assistive tools for use in the education of learners with disabilities.

8. References

(1) CAMRON, W. (1986). "Manipulative Appliance Development in Canada". In R. Foulds (ed): Interactive Robotic Aids - One Option for Independent Living: An International Perspective. Monograph 37, World Rehabilitation Fund, New York, NY, pp. 24-28.

(2) CAMPBELL, D.T., STANLEY, J.C. (1963). Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research. Chicago: Rand McNally.

(3) CROCHETIERE, W.J., MAHONEY, R.M. (1990). "Task-Oriented Control of a Robot Manipulator: Part I: The Concept". Proceedings of the Thirteenth Annual Conference on Rehabilitation Engineering. (RESNA). Washington, D.C. June (accepted for publication).

(4) ENGELBERGER, J.F. (1989). Robotics in Service. Kogan Page, Ltd, 120 Pentonville Road, London N1 9JN.

(5) FU, C. (1986). "An Independent Vocational Workstation for a Quadriplegic". In R. Foulds (ed): Interactive Robotic Aids - One Option for Independent Living: An International Perspective. Monograph 37, World Rehabilitation Fund, New York, NY, pp. 42-44.

(6) GILBERT, M., CARUSO, J., MAHONEY, R., FEE, J. (1989). "Development of a Programming Environment for Rehabilitation Robotics". **Proceedings of the Twelfth Annaul Conference on Rehabilitation Robotics**. (RESA). New Orlearns, Louisiana. June.

(7) HARWIN, W., GINIGE, A., JACKSON, R. (1986). "A Potential Application in Early Education and a Possible Role for a Vision System in a Workstation-based Robotic Aid for Physically Disabled Persons". in R. Foulds (ed): **Interactive Robotic Aids - One Option for Independent Living: An International Perspective**. Monograph 37, World Rehabilitation Fund, New York, NY, pp. 18-23.

(8) HAYWARD, V., PAUL, R.P. (1986). "Robot Manipulator Control under Unix RCCL: A Robot Control "C" Library". **International Journal of Robotics Research**, Volume 5, No. 4, Winter, pp. 94-111.

(9) HEYWARD, C., BURROW, M. **A Workstation of the Upper Extremity Impaired**. Center for Rehabilitation Technology, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, 30332-0156 (unpublished).

(10) HOSEIT, P., LIU, K., COOK, A. (1986). "Development and Use of a Robotic System with Very Young, Developmentally Delayed Children". in R. Foulds (ed): **Interactive Robotic Aids - One Option for Independent Living: An International Perspective**. Monograph 37, World Rehabilitation Fund, New York, NY, pp. 48-50.

(11) HOWELL, R., CLARKE, J., DAMARIN, S., LAWSON, J. (1988). "Design Issues in the Use of Robots as Cognitive Enhancement Aids for Disabled Individuals". **Transitions in Mental Retardation**. Monograph of the American Association for Mental Deficiency, Ablex Publishing Co., Norwood, NJ.

(12) KWEE, H.H. (1986). "Spartacus and Manus: Telethesis Developments in France and in the Netherlands". in R. Foulds (ed): **Interactive Robotic Aids - One Option for Independent Living: An International Perspective**. Monograph 37, World Rehabilitation Fund, New York, NY, pp. 7-17.

(13) LEES, D., CRIGLER, R., VAN DER LOOS, M., LEIFER, L. (1988). "A Third Generation Desktop Robotic Assistant for the Severely Physically Disabled". **Proceedings of the International Conference of the Association for the Advancement of Rehabilitation Technology**. Montreal, Canada, June, pp. 484-485.

(14) LEIFER, Larry (1981). "Rehabilitative Robots". **Robotics Age**. May-June, pp. 4-15.

(15) LINCOLN, Y.S., GUBA, E.G. (1985). **Naturalistic Inquiry**. Beverly Hills: CA. Sage Publications.

(16) LOZANO-PEREZ, T. (1982, revised 1983). "Robot Programming". **Massachusetts Institute of Technology Artificial Intelligence Laboratory Memo No. 698a.**

(17) MAHONEY, R.M., CROCHETIERE, W.J. (1990). "Task-Oriented Control of a Robot Manipulator: Part II: Implementation on the RTX". **Proceedings of the Thirteenth Annual Conference on Rehabilitation Engineering.** (RESNA) Washington, D.C. June (accepted for publication).

(18) NOF, S., KARLAN, G., WIDMER, N. (1988). "Development of a Prototype Interactive Robotic Device for Use by Multiply Handicapped Children". **Proceedings of the International Conference of the Association for the Advancement of Rehabilitation Technology.** Montreal, Canada, June, pp. 456-457.

(19) VAN DER LOOS, M., HAMMEL, J., SCHWANDT, D., LEES, D., LEIFER, L., PERKASH, I. (1989). "Design and Evaluation of a Vocational Desktop Robot". **Proceedings of the Twelfth Annaul Conference on Rehabilitation Robotics.** (RESA). New Orleans, Louisiana. June.

QUATRIÈME PARTIE

LA ROBOTIQUE - OUTIL DE LABORATOIRE

QUELQUES REMARQUES PÉDAGOGIQUES ET DIDACTIQUES À PROPOS D'UN DISPOSITIF INFORMATISÉ DE PRISE DE DONNÉES

Jean-Claude LE TOUZÉ
Daniel BEAUFILS
Institut National de Recherche Pédagogique
Département "Technologies Nouvelles et Enseignement"

Résumé

L'expérimentation d'un dispositif informatisé de mesure mis au point pour l'étude de la mécanique (éclatements, chocs, chute libre, glissement sur un plan incliné) nous a conduit à aborder denombreuses questions pédagogiques parmi lesquelles:

- le choix d'un système d'acquisition adapté à la mesure des vitesses: ensemble de cellules photo-électriques doubles.

- le mode de présentation de la chaîne de mesure (capteur- interface-ordinateur): du détecteur de passage au "capteur de vitesse", approche "empirique" du dispositif.

- le contrôle de la mesure par l'élève: part des activités manuelles et fonctionnalités logicielles adaptées (chronogrammes, représentations graphiques diverses).

- le rôle du dispositif expérimental dans la démarche pédagogique: dispositif de laboratoire, modèle réduit de la réalité, micro-monde?

Abstract

The elaboration of a system of measurement coupled with a computer and of its use for teaching mechanics (chocs and splitting, free fall and movement on sliding slope) led us to consider numerous questions, among them:

- the choice of a device fitted for the measurement of velocity: a set of double photo-electric cells,

- the mode of presentation of the measurement line (apparatus, interface, computer): as a device detecting moving object coming by or as a speedometer - giving explanation on its working or keeping an "empirical" approach,

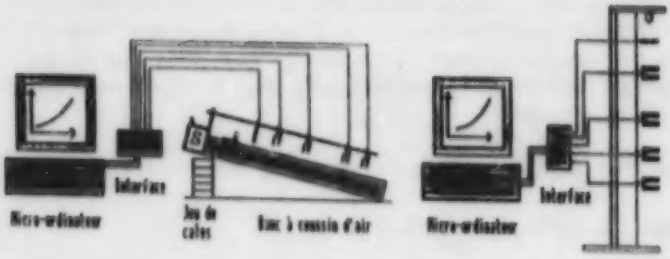
- the role of the device in relation with the pedagogical aims: laboratory experiment, small-scale model of reality or micro-world with its own properties?

1. Un dispositif d'acquisition automatique pour l'enseignement de la mécanique au lycée

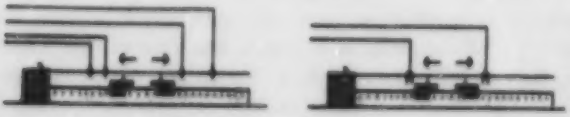
Le groupe Informatique du Département "Technologies Nouvelles et Enseignement" de l'Institut National de Recherche Pédagogique s'est intéressé à l'utilisation d'un dispositif d'acquisition automatique adapté à l'étude de la mécanique au lycée: étude des chocs et des éclatements, de la chute libre ou du glissement sur un plan incliné.

Le système développé (fabriqué et commercialisé par la Société Jeulin, Evreux, France) est constitué d'une chaîne de cellules photo-électriques reliée à un micro-ordinateur (compatible IBM-PC) par une interface adaptée.

Dans le cas de la chute libre ou du plan incliné, la chaîne complète - comprenant un capteur simple (une cellule) et quatre capteurs doubles (deux cellules séparées de 1 cm) - est placée le long de la trajectoire du mobile. Le capteur simple sert à déclencher la lecture de l'horloge de l'ordinateur, les capteurs doubles permettent ensuite de repérer les dates de passage (avec une précision inférieure à 50 microsecondes grâce à un module ASSEMBLEUR de saisie) et de mesurer ainsi les vitesses correspondantes.



Pour l'étude des éclatements et des chocs on utilise deux mobiles (munis ou non d'un ressort) se déplaçant sur un banc à coussin d'air. Pour mesurer leurs vitesses, il suffit de disposer de quatre cellules formant deux couples de capteurs de vitesse, les éclatements ou les chocs se produisant entre ces capteurs. On peut donc prendre soit les quatre capteurs doubles pour lesquels une seule cellule est utilisée, soit deux capteurs doubles.



Les expérimentations réalisées au cours du développement des logiciels correspondants (BANC, CHUTE, PLAN) nous ont amené à aborder de nombreuses questions d'ordre pédagogique à propos du dispositif d'acquisition lui-même, parmi lesquelles: le choix d'un système adapté à la mesure des vitesses, le mode de présentation de la chaîne de mesure, le contrôle de la mesure par l'élève, le rôle du dispositif expérimental dans la démarche pédagogique.

2. Un dispositif d'acquisition adapté à la mesure des vitesses

2.1 Capteurs simples ou capteurs doubles?

La première solution pour déterminer une vitesse consiste à n'utiliser que deux capteurs simples dont on choisit l'écartement. Sur le plan "technique" ceci présente deux inconvénients:

- un tel dispositif limite physiquement le rapprochement des cellules, ce qui présente un désavantage lorsqu'on vise la meilleure estimation de la vitesse instantanée,
- ce mode de saisie est la source d'incertitudes parfois importantes sur la détermination des vitesses puisque celles-ci sont calculées à partir de la valeur de l'écartement réalisé à la main.

Ceci se double, sur le plan pédagogique, de quelques difficultés que nous avons pu relever à propos de l'étude des éclatements pour l'introduction de la quantité de mouvement (classe de seconde, élèves de 14-15 ans) [1]. Par exemple, la différence des vitesses des mobiles après séparation était en fait imputée à la différence des distances séparant les deux cellules de chaque couple, et ceci quelque soit le sens de la différence!

Cette difficulté a été retrouvée dans les contrôles qui ont été passés aux élèves. Une question avait en effet été posée concernant cette méthode de détermination des vitesses. Un nombre non négligeable d'élèves (jusqu'à 58% suivant les classes) ont fourni des réponses incorrectes, par des raisonnements "circulaires" contradictoires remettant

en cause (sans s'en rendre compte) le principe de l'inertie: "Quand la distance est double, il faut deux fois plus de temps, donc la vitesse est deux fois plus faible".

2.2 Des capteurs de vitesse

Le choix qui a résulté de ces observations est évidemment celui de préférer des capteurs doubles pour lesquels l'écartement, fixé par le constructeur avec une bonne précision, est le même pour tous (1 cm).

Mais ceci nous a conduit en fait à aller un peu plus loin, et à choisir de présenter la chaîne de mesure comme un ensemble de "capteurs de vitesse".

En classe de seconde, puisque le calcul de la vitesse fait partie des objectifs de connaissance, une première étape peut être consacrée à la "vérification" des informations données par l'ordinateur: lorsque celui-ci affiche la distance entre les cellules, les dates d'occultation et les vitesses, il est possible de demander aux élèves de faire une fois le calcul à la main et de confronter leur résultat à celui affiché sur l'écran. Ensuite, il est clairement établi que le dispositif informatisé permet la détermination automatique (directe) des vitesses. L'enseignant peut même configurer le logiciel pour que seules les valeurs des vitesses apparaissent par la suite.

inrp Saisie de l'expérience No 2

$\vec{V}$ (A)	$\vec{V}$ (B)
←	→

expt.	distance	durée	vitesse
C1-C2	1.00 cm	0.0489 s	20.45 m/s
C3-C4	1.00 cm	0.0978 s	10.22 m/s

En classe terminale la présentation de la chaîne est purement qualitative. Pour l'étude de la chute libre par exemple, on explique aux élèves que les capteurs sont doubles et qu'ils permettent ainsi d'obtenir une bonne estimation de la vitesse en fonction de la hauteur de chute.

Ceci va même encore plus loin: la masse étant connue, l'ordinateur peut calculer directement l'énergie cinétique (et afficher immédiatement le point dans la représentation Ec(h) par exemple). Il n'y a en fait aucune différence entre le calcul-mesure de la vitesse et la détermination de l'énergie cinétique, de sorte que l'on peut pratiquement parler de "capteurs d'énergie".

Ceci prend tout son sens dans une approche empirique du dispositif d'acquisition. En fonction des observations faites dans les classes de seconde, il nous est en effet apparu que la part de présentation à consacrer aux explications sur le fonctionnement du dispositif d'acquisition pouvait, et devait, être la plus réduite possible (pour des raisons évidentes de temps, mais également dans un souci d'allègement de la quantité d'information apportée aux élèves). Non seulement il s'avère que ceux-ci ont des difficultés à faire le tri entre les informations relatives au phénomène et celles relatives au dispositif de mesure, mais que de plus, le détail de ces dernières n'a guère d'importance.

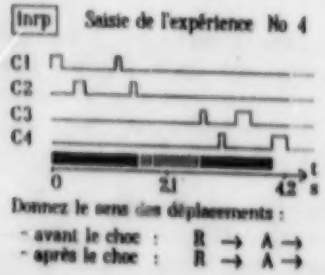
On sait bien par ailleurs que l'approche naturelle de tout un chacun devant un appareil est bien d'abord celle de l'utilisateur, avant d'être celle de l'utilisateur averti, et enfin celle du spécialiste. Ceci s'étend bien au-delà de notre exemple et vaut donc pour tout dispositif d'acquisition.

3. Le contrôle de la mesure

Le choix d'un dispositif automatisé de mesure, de plus considéré en partie comme une boîte noire, n'exclue pas mais au contraire renforce la nécessité d'un contrôle du fonctionnement.

Nous avons choisi dans tous les cas de faire en sorte que l'élève puisse avoir ce contrôle. Hormis les cas d'erreurs manifestes (erreur ou dysfonctionnement d'une saisie) qui se traduisent par le refus des valeurs entrées ou mesurées, nous avons tenté d'offrir des fonctionnalités qui permettent un contrôle quasi "en-direct" et qui laissent le choix de conserver ou d'annuler la mesure qui vient d'être effectuée.

Dans le logiciel BANC (étude des chocs ou des éclatements), nous avons ainsi programmé le tracé d'un chronogramme. Parce qu'il montre le déroulement des événements dans le temps, le chronogramme rend possible la découverte de la cause d'une mesure jugée aberrante, voire la détection d'une anomalie [2]. Ainsi, la durée d'occultation des deux cellules d'un capteur double par le passage d'un même mobile doit être approximativement la même; si ce n'est pas le cas, l'élève doit le voir et demander le rejet de cette mesure.



Ce contrôle est un passage quasi obligé dans l'étude des chocs quelconques, puisque la seule mesure des dates ne permet pas à l'ordinateur de savoir si le choc a bien eu lieu entre les deux couples de capteurs ni de déterminer dans tous les cas les sens de déplacement des mobiles avant et après le choc. Les mobiles pouvant aussi bien rebondir chacun de leur côté, que se suivre, ou même s'accrocher, l'expérimentateur (l'élève) doit nécessairement introduire au clavier des informations complémentaires qu'il peut (doit) mettre en relation avec le chronogramme de l'acquisition.

Dans les logiciels CHUTE et PLAN, le contrôle est fait par l'affichage graphique en direct des valeurs mesurées. Ceci permet un contrôle minimal de validité des mesures, de façon "intrinsèque" en fonction des valeurs choisies par l'élève lui-même pour le positionnement des capteurs, ou "extrinsèque" dès le moment où des mesures antérieures peuvent servir de référence.

L'affichage graphique permet également un contrôle global de la manipulation, en repérant soit les zones non encore explorées, soit des points qui semblent poser problème. Ceci est particulièrement intéressant lorsque l'accumulation des points fait apparaître progressivement un tracé qui n'est pas rectiligne (cas de la relation entre hauteur et temps de chute par exemple) et qui déroute les élèves.

4. Le rôle du dispositif expérimental

Bien que cette question ne relève pas spécifiquement de l'utilisation de l'ordinateur, elle apparaît parfois comme cruciale dans la conception des déroulements pédagogiques où l'ordinateur n'est pas seulement un instrument de mesure mais également l'outil de représentation et d'analyse des données [3] [4] [5] [6].

La question s'est trouvée posée de façon très symptomatique dans l'expérimentation du logiciel BANC pour l'introduction de la quantité de mouvement et sa conservation lors d'éclatements et de chocs. L'importance de la préparation du système (banc à coussin d'air pour éliminer les frottements, horizontalité pour éviter l'effet du poids, mobiles bien adaptés munis d'un index pour le repérage par des cellules photo-électriques judicieusement placées, etc...), ont entraîné une perception inattendue chez certains élèves. Le contrôle qui a suivi a permis en effet de voir qu'un nombre non négligeable d'entre eux avaient retenu que la quantité de mouvement se conservait pour ... des solides en mouvement sur un banc à coussin d'air parfaitement horizontal!

Ceci amène évidemment un certain nombre d'interrogations portant sur le mode de présentation du dispositif expérimental, sur le rôle de l'expérience, et finalement sur la place de ce dispositif expérimental.

Celui-ci peut en effet être considéré comme un *modèle réduit* de la réalité. Cette position, souvent choisie implicitement, n'est pas toujours très facile à soutenir. Ainsi, la référence à la séparation de deux étages d'une fusée pour l'étude des éclatements ne permet pas d'introduire facilement le dispositif expérimental. Il faut en effet justifier l'emploi d'un banc à coussin d'air, son horizontalité, puis le choix du mode d'acquisition et la place des capteurs, et enfin, celui de n'étudier (certes dans un premier temps) que l'éclatement d'un système initialement au repos... À cela il faut ajouter la réduction du dispositif d'éclatement à un système de deux ressorts et passer sous silence la question du changement d'échelle.

Ces aspects ne sont pas négligeables. On a pu par exemple observer que des élèves étaient convaincus que la différence des vitesses après un éclatement était tout simplement due au fait que les deux ressorts n'étaient pas identiques, ou que le ressort unique poussait "évidemment" plus d'un côté que de l'autre.

Une autre façon est de considérer le montage comme un dispositif de laboratoire spécialement conçu pour étudier un phénomène dans une situation où tous les paramètres sont contrôlés. Ceci a l'avantage de bien placer l'étude et les résultats dans le cadre des conditions de laboratoire, et de pouvoir faire une présentation très claire des grandes notions de la physique (présentation que l'on trouve dans certains manuels français des années 70). Mais, le *transfert des acquis* sur d'autres situations, celles "de la vie courante" (du physicien bien sûr) n'est pas assuré. Cela signifie qu'il est nécessaire de faire des activités complémentaires: activités expérimentales sur d'autres supports ou activités qui sortent du cadre strictement expérimental (étude de données réelles relatives à des essais de fusée, ou de sécurité automobile, ou étude sur modèle simulé sur ordinateur, dont on peut confronter, au moins au niveau des ordres de grandeurs, les résultats à des données connues). Il

faut ici noter que, si l'on fait référence à l'histoire, les concepts comme la quantité de mouvement, l'énergie, leur conservation, etc., ont été inventés et adoptés à partir d'observations en nombre parfois restreint, lorsque ce n'est pas pour des raisons théoriques, voire philosophiques.

Une dernière possibilité s'offre à nous: celle de considérer ce type de dispositif expérimental comme un *micro-monde* dont on va étudier le comportement, avec un regard de physicien, c'est-à-dire en cherchant à décrire mathématiquement son comportement, d'abord dans des conditions particulières, puis en cherchant à construire des descriptions de plus en plus générales, qui prendront petit à petit force d'explication. Cette démarche constructiviste, a l'avantage d'être en complet accord avec la démarche scientifique, et de ne pas poser la question du lien avec la "réalité extérieure".

Ce dernier point pourrait sembler être un inconvénient majeur. Mais qu'en est-il exactement du rôle de l'enseignement des sciences dans les classes comme celle de seconde, qui regroupe en France des élèves se destinant à des filières très différentes? Et l'objectif d'acquisition de méthode, de mode de pensée, n'est-il pas le principal, celui qui permet ensuite, chacun dans sa spécialité, d'accéder aux connaissances qui lui importe?

5. Bibliographie

[1] BEAUFILS, D., BLONDEL, F.M., LE TOUZÉ, J.C., SALAME, N. (1987). "Mécanique en seconde avec un banc et un ordinateur". Dans **Cours et TP de physique et chimie avec ordinateur**. Paris: UDP-INRP, pp. 21-39.

[2] BEAUFILS, D. (1988). "Conception de manipulations de physique avec ordinateur: apport d'une expérimentation". Dans **Actes des Xèmes journées internationales sur l'éducation scientifique**. Paris: U.E.R. de didactique des disciplines de Paris VII, pp. 379-396.

[3] BEAUFILS, D., LE TOUZÉ, J.C. **Acquisition et analyse de données expérimentales, quelle démarche et quels outils?** Intra.

[4] LEFEVRE, G., RELLIER, C. (1988). "Ordinateur, outil de laboratoire: faites vote choix". Dans **Actes des IIIèmes journées Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques**. Grenoble: UDP-INRP, pp. 15-23.

[5] NONNON, P. (1986). **Laboratoire d'initiation aux sciences assisté par ordinateur**. Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal.

[6] DUREY, A. (1989). "Vers des activités didactiques de mise au point de modèles de physique avec des micro-ordinateurs". **Aster**, no 8, pp. 161-186.

Plusieurs types de capteurs ont par ailleurs fait l'objet de fiches de présentation (essentiellement technique) lors des journées Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques, organisées par l'Institut National de Recherche Pédagogique et l'Union des Physiciens: Grenoble (1988) et Toulouse (1990).

LA MÉCANIQUE SUR COUSSIN D'AIR AVEC UNE TABLE À DIGITALISER

André MEGEL
Union des Physiciens
Lycée Esclangon - Manosque
Laboratoire I.D.E.A.O.
Université Paul Sabatier - Toulouse

Niveau: Classes de Seconde -Première S - Terminales C et D
Utilisation: Travaux Pratiques et Travaux Dirigés
Langage: Turbo Basic
Matériel: Table Summagraphics (1201+)
Ordinateur Commodore PC 30-111 + carte VGA
Table traçante Panasonic VP-6803

Le professeur de sciences physiques a besoin, pour construire son cours, de s'appuyer sur des résultats expérimentaux.

L'idéal, me semble-t-il, est de pouvoir le faire à partir des mesures réalisées par les élèves en Travaux Pratiques. Cela est possible, car il existe un matériel de qualité que l'on peut mettre à leur disposition. Pour que ce travail soit vraiment positif, il doit être suivi d'une exploitation détaillée des mesures.

La difficulté est alors de contrôler sérieusement le travail de chaque élève. Le professeur n'a pas le temps de vérifier les calculs et de donner des explications à ceux dont les résultats sont faux si les valeurs numériques sont différentes.

D'autre part, si tous les élèves utilisent les mêmes valeurs numériques, ils cessent de chercher dès que l'un d'eux a trouvé le résultat.

Je voudrais montrer que l'on peut réaliser des expériences de mécanique sur coussin d'air avec une table à digitaliser associée à un ordinateur puis:

- donner rapidement à chaque élève un enregistrement du mouvement
- suivre facilement leur travail d'exploitation des mesures en restant très disponible pour leur donner des explications
- et intégrer ainsi pleinement le travail réalisé par les élèves en Travaux Pratiques dans le cours fait par le professeur.

A. ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

1. But de l'expérience

- Enregistrer la position du centre d'inertie d'un mobile à intervalles de temps réguliers.
- Donner à chaque élève un exemplaire de l'enregistrement sur papier.
- Construire le cours de mécanique en s'appuyant sur l'expérience réalisée en Travaux Pratiques avec l'aide de l'ordinateur.

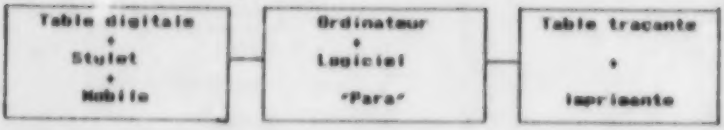
2. Méthode utilisée

On lance, vers le haut, un mobile auto-porteur sur une table inclinée d'un angle α par rapport à l'horizontale.

L'originalité du travail présenté est qu'il s'agit d'une expérience assistée par ordinateur. La position du mobile et la date sont directement enregistrées par l'ordinateur qui permet:

- un tracé instantané de la trajectoire sur l'écran.
- une vérification des résultats de l'expérience.
- un tracé rapide sur papier pour chaque élève.
- un contrôle permanent du travail d'exploitation des mesures faites par les élèves en Travaux Dirigés.

3. Dispositif expérimental



Il s'agit de la mise au point d'un mobile auto-porteur auquel a été associé le stylet de la table à digitaliser.

Un programme en Turbo Basic a été conçu pour assurer la communication entre le stylet, la table et l'ordinateur. Il permet d'enregistrer directement dans l'ordinateur, la date et les coordonnées de la position du stylet (centre d'inertie du mobile) au cours du mouvement.

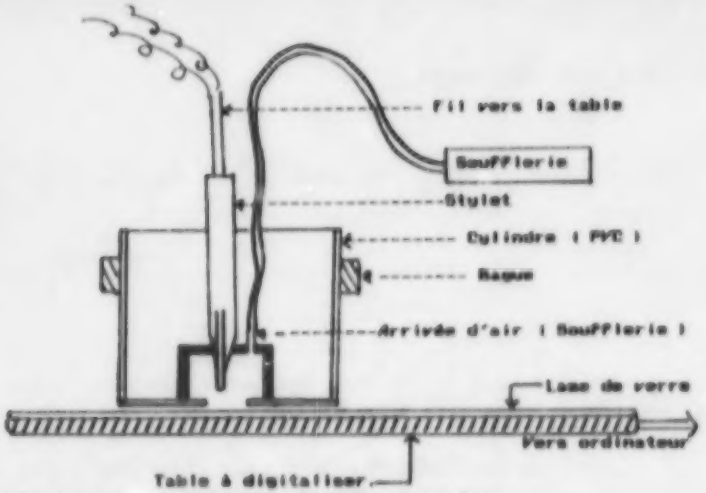
La table traçante associée à l'ordinateur donne alors très rapidement l'enregistrement de la position du mobile à intervalles de temps réguliers.

Le logiciel "PARA" permet ensuite un suivi détaillé de l'exploitation des mesures faites par les élèves en Travaux Dirigés.

3.1 Le mobile auto-porteur

C'est un cylindre de 10 cm de diamètre et de 8 cm de hauteur fabriqué en P.V.C. Le stylet, qui permet de repérer la position du centre d'inertie, a été ajusté dans le petit cylindre dans lequel arrive aussi l'air de la soufflerie.

Le fil du stylet et le tuyau souple sont suspendus pour ne pas trop gêner le mouvement.



3.2 La table à ...gitaliser (Summagraphics 1201 SC)

Elle permet, grâce au logiciel "PARA", d'envoyer à l'ordinateur des coordonnées d'espace du stylet c'est-à-dire du centre d'inertie du mobile à intervalles de temps réguliers (8,62 ms).

3.3 L'ordinateur (Commodore pc 30 - 111)

Il possède un disque dur, deux lecteurs de disquettes et une carte graphique VGA qui permet aussi une sortie sur téléviseur grand écran.

3.4 La table traçante (Panasonic VP 6803 ou Sharp CE -516 P)

Elle trace les points expérimentaux et permet ainsi d'obtenir l'enregistrement sur lequel travaillent les élèves. Elle permet aussi la vérification de toutes les constructions graphiques vectorielles demandées aux élèves.

B. EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE

1. Organisation du travail

1.1 Le cours

Le professeur introduit, en cours, les notions d'espace et de temps et définit les vecteurs espace, vitesse et accélération.

L'expérience, décrite précédemment est alors réalisée par les élèves au cours d'une séance de Travaux Pratiques (Fiche n°1).

Le travail du professeur consistera alors, sous forme de travaux dirigés (Fiches n°1 et n°2) et avec l'aide de l'ordinateur, à bâtir son cours à partir de l'exploitation détaillée des mesures par les élèves.

Le fil conducteur de ce travail est un sujet de devoir (Fiche n°3) qui est ensuite rédigé par chaque élève et constitue son cours.

1.2 Les objectifs visés

a) Repérer un mobile dans l'espace et dans le temps.
b) Construire les vecteurs espace, vitesse et accélération.
c) Vérifier les relations entre ces vecteurs.
d) Établir les équations horaires du mouvement, puis, l'équation de la trajectoire. Utilisation des droites de régression linéaire.
e) Construire la courbe théorique et la courbe expérimentale.
f) Découvrir les propriétés du mouvement parabolique:
   - Détermination de la vitesse de lancement.
   - Calcul de la portée et de la flèche.
   - Vérification expérimentale.
   - Influence de VO.
g) Date, vitesse, tangente en un point.

1.3 Les séances de Travaux Pratiques et de Travaux Dirigés

Première séance (Travaux Pratiques Fiche n°1):
- Réalisation de l'expérience (une en commun).
- Repérage d'un point (coordonnées d'espace et de temps).
- Construction des vecteurs vitesse et accélération en un point.

Deuxième séance (Travaux Dirigés Fiche n°2):
- Relation entre vecteurs espace, vitesse et accélération.
- Recherche de la vitesse de lancement VO.
- Étude de la portée et de la flèche.

Travail personnel à la maison:
- Étude de la courbe théorique et comparaison à l'expérience.
- Date, vitesse et tangente en un point de la trajectoire.
- Rédaction du devoir qui sera rendu puis corrigé.

Troisième séance (Fiche n°3):
- Corrigé du devoir en classe avec l'ordinateur.

2. La séance de Travaux Pratiques (Fiche n°1)

2.1 Objectifs, niveau concerné

1 - Repérer un mobile dans l'espace et dans le temps.
2 - Construire les vecteurs espace, vitesse et accélération.
Cette séance est utilisable en seconde sauf pour l'accélération.

2.2 Le matériel

- La table à digitaliser SUMMAGRAPHICS 1201+; Le mobile "FÉLIX".
- La table traçante: PANASONIC VP 6803;
- Un ordinateur PC associé à un grand écran visible par tous les élèves.
- Une imprimante.
- Le logiciel "PARA" (A. MEGEL).

2.3 L'expérience

On lance, vers le haut, un mobile auto-porteur sur la table inclinée d'un angle α. On enregistre la trajectoire du centre d'inertie à intervalles de temps réguliers. Chaque élève reproduit l'enregistrement avec la table traçante. On dispose ainsi de 18 points expérimentaux (un par élève). (Durée de cette phase: 30 minutes).

2.4 Travail pour chaque élève

Pour le point qui lui a été affecté chaque élève doit:

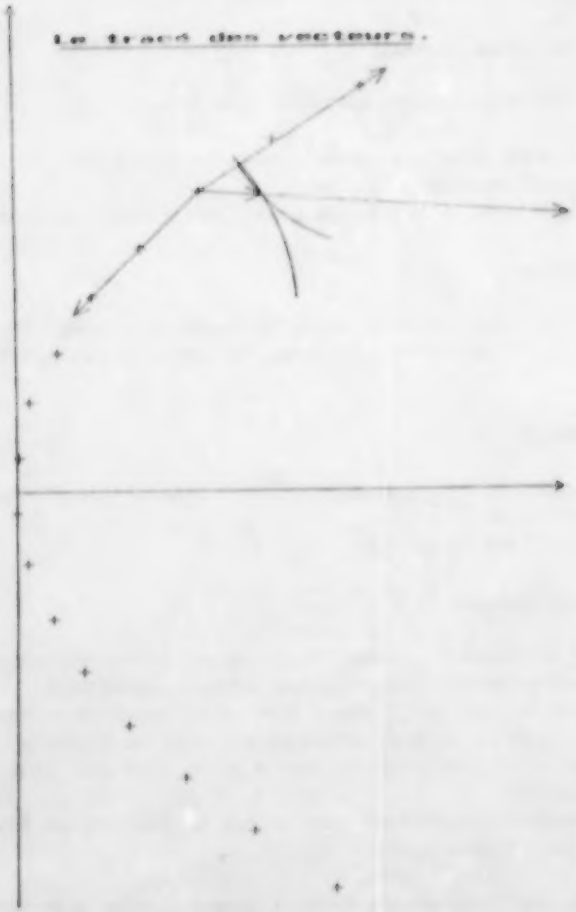
- Mesurer les coordonnées et la date. (L'axe des ordonnées est l'axe de symétrie de la parabole). L'axe des abscisses est tangent au sommet qui est point origine et déterminé par l'ordinateur.
- Construire graphiquement le vecteur vitesse puis le vecteur accélération et mesurer leurs coordonnées polaires.
- Vérifier ces résultats avec l'ordinateur.

2.5 Rôle de l'ordinateur

- Quand les coordonnées des points ont été introduites les points expérimentaux sont affichés sur l'écran. Le groupe identifie les erreurs et propose les corrections.
- La courbe théorique est tracée en superposition.
- L'ordinateur donne les coordonnées des vecteurs espace, vitesse et accélération. Chaque élève peut donc vérifier ses résultats quand son travail est terminé.

La table traçante donne un tracé rapide de la construction des vecteurs pour ceux qui n'ont pas compris.

- Il affiche sur l'écran et réalise un tirage pour chaque élève du tableau de toutes les mesures.
- Huit points sont choisis pour la suite du travail (séance suivante). L'ordinateur donne, pour ces huit points un tableau récapitulatif du travail fait par chaque élève (vitesse, accélération). Chaque élève quitte cette première séance avec un exemplaire de ce tableau.



3. La séance des Travaux Dirigés (Fiche N°2)

3.1 Objectifs, niveau concerné

Ce travail s'adresse aux élèves de terminale C ou D.

a - Relation entre les vecteurs espace, vitesse et accélération.
b - Équations du mouvement parabolique.
c - Etude de la flèche et de la portée. Influence de la vitesse de lancement.

3.2 L'expérience

On utilise les mesures de la séance de Travaux Pratiques précédente et, en particulier, le tableau récapitulatif distribué en fin de séance.

3.3 Le matériel

- Un ordinateur PC associé à un grand écran visible par tous les élèves.
- Une imprimante.
- Le logiciel "PARA" (A. MEGEL).

3.4 Travail pour chaque élève

a - Il s'agit de déterminer, à partir des mesures, les équations horaires des composantes des vecteurs espace, vitesse et accélération.
Le travail est partagé de façon à ce que chaque élève établisse graphiquement puis avec sa calculatrice une seule des équations.
Le travail est ensuite corrigé en commun sur le grand écran avec l'aide de l'ordinateur.
Pour conclure on montre que ces vecteurs se déduisent les uns des autres par dérivation.

b - À partir des équations précédentes il faut ensuite déterminer la vitesse de lancement VO, la flèche et la portée.

3.5 Rôle de l'ordinateur

Pour chaque relation cherchée, l'ordinateur affiche la droite de régression linéaire, son équation et ses coefficients caractéristiques.

Ensuite il affiche l'ensemble des résultats afin de tirer une conclusion.

Il donne également la vitesse de lancement, la flèche et la portée pour l'expérience réalisée par les élèves. Puis une simulation permet de montrer l'influence de Vo.

Il résout également des exercices classiques sur le mouvement parabolique étudié.

4. Le sujet du devoir (Fiche n°3)

4.1 Étude expérimentale

Rappeler l'expérience réalisée en Travaux Pratiques.

4.2 Étude d'un point

a - Construire le vecteur vitesse au point choisi. En déduire ses coordonnées polaires puis rectangulaires.
b - Construire le vecteur accélération au même point. En déduire ses coordonnées polaires puis rectangulaires.
c - Rassembler dans un tableau les résultats pour toute la classe.

4.3 Relation entre $\overrightarrow{OM}$, $\overrightarrow{V}$ et $\overrightarrow{A}$

a - Construire les courbes représentant:

$\overrightarrow{OM}\begin{cases} x=f(t) \\ y=f(t^2) \end{cases}$ $\overrightarrow{V}\begin{cases} Vx=f(t) \\ Vy=f(t) \end{cases}$ $\overrightarrow{A}\begin{cases} Ax=f(t) \\ Ay=f(t) \end{cases}$

b - Montrer que ce sont des droites. (Facteur de corrélation).
c - Déterminer les équations de ces droites. Préciser en particulier la valeur numérique des coefficients directeurs, des ordonnées à l'origine ainsi que leurs dimensions.
d - Montrer, à partir des résultats précédents, que le vecteur accélération est la dérivée du vecteur vitesse qui est la dérivée du vecteur espace. Précision des vérifications.

4.4 Étude de la trajectoire

a - Construire la courbe représentant Y = f(X^2). Montrer que c'est une droite (facteur de corrélation). Déterminer son coefficient directeur.
b - Déduire de ces résultats l'équation de la trajectoire.
c - Construire la courbe représentant Y = f (x). Conclusion ?

4.5 Vitesse $\overrightarrow{VO}$, portée, flèche

a - Déterminer les composantes de la vitesse de lancement $\overrightarrow{VO}$.
b - Donner l'équation de la trajectoire dans un repère dont l'origine est au point de lancement et l'axe des ordonnées est parallèle à l'axe de la parabole vers le haut.
c - Flèche (F). Établir l'expression de F. Calculer F.
d - Portée (P). Établir l'expression de P. Calculer P.
e - Vérification expérimentale?

4.6 Application

Calculer au point d'abscisse X = 0,21 m:

a - La date de passage du mobile.
b - Les coordonnées polaires du vecteur vitesse.
c - L'équation de la tangente à la trajectoire.

C. INTÉRET PÉDAGOGIQUE

1. Réalisation de l'expérience

Elle se fait dans de meilleures conditions qu'avec le matériel qui existait déjà car elle permet en plus et rapidement:

La détermination automatique du sommet de la parabole ainsi que le tracé du repère passant par ce sommet.
- La vérification et la conservation des mesures qui sont d'ailleurs très bonnes car le dispositif est très sensible.
- L'obtention d'un enregistrement, sur papier, pour chaque élève. Chaque enregistrement est muni du même repère passant par le sommet de la parabole.

2. Exploitation des mesures

2.1 Pour l'élève

La présence de l'ordinateur **motive** les élèves qui ont tendance à mieux faire un travail qu'ils peuvent contrôler rigoureusement et avec facilité.

Cela donne une grande importance au travail expérimental réalisé en travaux pratiques.

2.2 Pour l'enseignant

L'utilisation de l'ordinateur simplifie beaucoup la tâche du professeur qui peut vérifier la qualité de l'expérience avant de lancer ses élèves sur le travail d'exploitation.

D'autre part, il dispose à chaque instant des réponses au travail demandé. Il est donc **plus disponible** pour donner des explications à ceux qui en ont besoin.

Il peut ainsi alterner des phases de travail individuel où chaque élève a une tâche bien précise à remplir et des phases de synthèse où il reprend la classe en main pour tirer des conclusions en utilisant le travail de chacun.

3. Conclusion

Les aspects positifs constatés sont certainement:

- Un meilleur suivi des élèves.
- Une plus grande efficacité de l'enseignant qui peut jouer pleinement son rôle d'animateur et pratiquer une pédagogie très active.
- Un meilleur comportement des élèves devant l'expérience et pendant l'exploitation des mesures.
- Une totale intégration du travail expérimental des élèves dans le cours de l'enseignant.

ACQUISITION ET ANALYSE DE DONNÉES EXPÉRIMENTALES: QUELLE DÉMARCHE ET QUELS OUTILS?

Daniel, BEAUFILS
Jean-Claude LE TOUZÉ
Institut National de Recherche Pédagogique - Montrouge
Département "Technologies Nouvelles et Enseignement"

Résumé

Le travail de réflexion à la base de la réalisation de logiciels pour l'enseignement de la mécanique (chute, glissements, oscillations) a été centré sur la recherche de démarches "scientifiques" allant de la mesure à l'analyse théorique.

Le choix d'une démarche de "modélisation expérimentale" a conduit à rechercher les modalités d'une double transposition: celle des outils informatiques et celle des activités expérimentales. Les logiciels ainsi conçus contiennent des fonctionnalités d'acquisition, d'analyse numérique (dérivation, régression, etc.) et de modélisation (tracé de fonctions, résolution d'équations différentielles, etc.). La simulation sur modèle y apparaît comme une méthode d'analyse des données.

Les déroulements pédagogiques s'étendent sur trois séances:
- travaux pratiques: mise en évidence d'un phénomène et modélisation empirique,
- cours: interprétation théorique du phénomène et confrontation aux données,
- devoir: reprise de la démarche sur un exemple voisin.

Abstract

The didactic considerations which underlay the realisation of soft-vares for teaching mechanics (free fall, sliding, oscillation) were

focused on the search of scientific process including measurement and theoretical analysis.

The choice of an approach called "empirical modelisation" led us to a transposition of both the informatical tools and the experimental activities. The softwares thus elaborated contain fonctionnalities for measurement, numerical analysis (derivation, least squares methods and so on) and for mathematical modelisation (curve-plotting, differential equation solving, and so on). Simulation on model is also use as a method for data analysis.

The pedagogical developments include three sessions:

- the laboratory activities: bringing to the fore of a phenomenon and its empirical modelisation,
- lesson: theoretical interpretation of the observed phenomenon and comparison to the data,
- exercice: application of the whole process to a connected case.

Le groupe Informatique du Département "Technologies Nouvelles et Enseignement" a travaillé à la conception de plusieurs logiciels de physique fondés sur l'utilisation de dispositifs d'acquisition automatique de données [1].

Mais l'utilisation de l'ordinateur "outil de laboratoire" ne se limite pas à l'acquisition [2] [3]. Il est aussi l'outil privilégié de la représentation et du traitement des données. L'acquisition elle-même ne prend son sens qu'en fonction de l'analyse envisagée. Nous nous sommes donc intéressé à l'ensemble des activités allant de la mesure jusqu'à l'interprétation théorique des phénomènes étudiés, et nous avons ainsi été amenés à rechercher les éléments d'une double transposition: celle d'une démarche scientifique fondée sur l'analyse des données expérimentales et celle des outils informatiques utiles à cette démarche [4].

1. L'ordinateur outil de laboratoire: quelle transposition?

1.1 Transposition des activités: science normale et résolution de problèmes

La justification fondamentale de l'introduction de l'ordinateur dans l'enseignement des sciences physiques est son utilisation effective dans les laboratoires de recherche ou de développement.

La transposition des activités scientifiques renvoie alors à des questions portant sur la nature de la science prise en référence. Sans pouvoir ici entrer dans le détail d'une analyse épistémologique, il faut noter que si l'on souhaite garder la référence à une activité de physicien plutôt fondamentaliste (conformément au contenu des programmes actuels), la seule activité raisonnablement transposable est celle de la "science normale" [5], c'est-à-dire l'activité majeure où le chercheur, spécialisé dans un domaine, s'intéresse à un phénomène qui lui pose problème, et pour lequel il fait l'hypothèse d'une solution dans le cadre des connaissances scientifiques en cours (le paradigme).

Plus spécifiquement, si l'on s'intéresse à la place de l'ordinateur, on voit aisément qu'il est effectivement utilisé par les chercheurs pour résoudre, ou pour les aider à résoudre, des "questions de physique", généralement comme calculateur, muni des logiciels de représentation et de traitements numériques.

Deux formes d'activités peuvent être distinguées qui prennent l'acquisition de données expérimentales (quantitatives) comme point de départ, et peuvent servir d'appui à une transposition:

1.1.1 La mise en évidence d'un comportement empirique:

Il s'agit de la recherche d'une relation mathématique qui décrit le comportement d'un système: l'adoption d'une telle relation traduit le passage à une *représentation quantitative et formelle*, calculable: par rapport aux données expérimentales, elle constituera un modèle.

La transposition de cette activité tient à l'expression "mise en évidence" qui traduit le fait que la relation doit être "découverte", n'étant évidente ni dans son existence ni surtout dans sa forme. C'est effectivement la position dans laquelle se trouvent les élèves lorsqu'on les amène à aborder un nouveau champ de connaissance. Le caractère linéaire ou quadratique de la relation entre deux grandeurs observées (tension et intensité, distance et temps, etc.) n'est pas nécessairement prévisible, et les valeurs des paramètres qui interviennent ne peuvent être toujours estimées à l'avance. Il y a création d'une connaissance empirique commune, commune à l'ensemble des élèves, mais également commune aux élèves et au professeur: c'est de ce phénomène ainsi mis en évidence et de la description sur laquelle on s'est accordé dont il sera question par la suite.

1.1.2 La résolution d'un "problème expérimental":

Partant ainsi d'un *constat expérimental*, la question peut porter ensuite sur *l'interprétation théorique* du comportement.

Les élèves sont alors amenés à construire une représentation théorique du phénomène: définition d'un système limité, bilan des actions extérieures, application des relations fondamentales, etc. Cette *modélisation* peut être soit "immédiate" (il s'agit par exemple de trouver la bonne mise en relation des connaissances: ainsi, la seule action du poids sur un pendule pesant explique la non-harmonicité des oscillations) - soit nécessiter la proposition (l'invention) d'un modèle qui n'est pas issu de la théorie générale (hypothèse d'une force de frottement proportionnelle à la vitesse et recherche de la valeur du paramètre).

1.2 Des outils numériques pour l'analyse et l'interprétation des données

Ces activités nécessitent, pour être menées à bien, des méthodes numériques informatisées [6]. Pour le chercheur, c'est en raison de la complexité intrinsèque des modèles étudiés. Pour les élèves c'est également en raison de leur complexité relative, et de la durée toujours limitée du travail (une séance de travaux pratiques ou un cours).

Sur le plan de la transposition des outils numériques, nous avons cherché à implanter dans les logiciels des fonctionnalités qui viennent donc compléter l'acquisition des données mais qui restent *accessibles aux élèves*. Nous avons sélectionné ainsi le calcul et la représentation de grandeurs secondaires, le tracé de courbes et la simulation numérique. Ces trois fonctionnalités sont présentées ci-dessous à travers les logiciels de mécanique conçus à l'INRP [7].

Notons ici que la *présence simultanée* des fonctionnalités d'analyse et d'acquisition sur ces logiciels, s'impose par le souci de maintenir les possibilités d'interrelation entre les deux aspects du travail, qui généralement ne peuvent pas être séparés en deux phases strictement successives.

1.2.1 Le calcul et la représentation de grandeurs:

Il s'agit bien sûr de la possibilité de choisir de porter telle ou telle grandeur en abscisse ou en ordonnée, ou de sélectionner la superposition de deux tracés, mais également celle de *choisir les grandeurs* que l'on veut analyser: temps, vitesse, énergie, etc. Suivant les cas, les définitions mathématiques ($v=dx/dt$, $Ec=1/2mv^2$, etc.) sont préprogrammées ou laissées entièrement libres à l'utilisateur.

1.2.2 Traceur de courbes et modélisation empirique:

La possibilité d'obtenir le tracé représentatif d'une fonction mathématique venant se superposer aux données expérimentales, est non seulement l'outil adapté à la recherche de modèles descriptifs, mais de plus, répond à plusieurs objectifs pédagogiques:

- objectiver la notion de modèle de comportement et concrétiser un certain nombre de fonctions mathématiques plus ou moins bien dominées par les élèves,
- introduire une méthode d'optimisation (ajustement des paramètres pour faire coïncider les deux traces) dont l'élève a le contrôle,
- apporter ainsi les prérequis nécessaires à l'introduction (ultérieure) de méthodes automatisées (régression, khi carré, etc).

1.2.3 Simulation: fonctionnement d'un modèle théorique:

L'ordinateur ouvre là des possibilités nouvelles, puisqu'il donne accès à des solutions (numériques) d'équations différentielles que les élèves peuvent écrire mais ne peuvent pas résoudre analytiquement (cas du pendule pesant par exemple). La simulation est donc ici utilisée comme une méthode d'analyse de données.

Sur le plan pédagogique, l'intérêt se trouve dans la "concrétisation" des modèles: ils sont manipulés, les équations fondamentales sont opérationnalisées (utilisées dans un but de mise au point d'un modèle), et les résultats sont représentés graphiquement dans l'espace des points expérimentaux. Mais l'intérêt se situe également dans la présentation du principe de résolution (par une méthode du premier ordre) qui permet de montrer comment ces équations traduisent des interrelations entre position, vitesse et accélération, et pourquoi deux conditions initiales sont nécessaires et suffisantes.

2. L'ordinateur en classe de physique: des exemples de déroulements pédagogiques

2.1 L'articulation TP/cours/devoir

Les activités transposées évoquées ci-dessus peuvent s'inscrire dans des ensembles cohérents "cours + travaux pratiques + devoir". La première étape est une séance de travaux pratiques centrée sur la "mise en évidence d'un fait expérimental". Le travail est proposé par l'enseignant qui donne la "question de physique". L'objectif est d'aboutir avec les élèves à la construction d'un référent empirique commun sous la forme d'une relation mathématique descriptive du comportement du système.

La seconde partie est le cours, dont l'objectif est d'introduire le mode d'analyse théorique du système: c'est le professeur qui apporte les notions et concepts nouveaux, les lois, etc., et les utilise devant les élèves, pour montrer, dans une démarche de type essentiellement hypothético-déductive, comment le physicien d'aujourd'hui interprète ces

résultats expérimentaux. Remarquons ici que le choix de cette démarche qui s'appuie sur des considérations épistémologiques est également justifié par l'existence d'un double obstacle (pour les élèves), constitué par l'absence de connaissance empirique du (des) phénomène(s) concerné(s) d'une part, et par l'impossibilité d'en faire une construction théorique (par une induction généralisante).

Dans la dernière phase, le travail est confié entièrement aux élèves, sous la forme d'une activité papier-crayon ou d'une séance de travaux pratiques, dans laquelle on leur demande de reprendre l'ensemble de la démarche à propos d'un phénomène voisin. Ils doivent donc réinvestir à la fois les connaissances théoriques acquises et les méthodes d'analyse et d'interprétation des données expérimentales.

2.2 Un exemple: étude de la chute libre et du mouvement sur un plan incliné

2.2.1 Séance de travaux pratiques: étude cinématique de la chute libre:

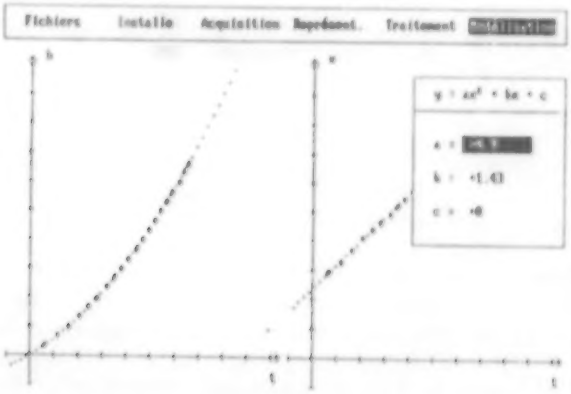
La question posée ici est "quelle est la distance parcourue au bout d'un temps t, et quelle est la vitesse alors atteinte?". Pour l'enseignant, l'objectif est donc la mise en évidence des lois horaires h(t) et v(t).

Des capteurs photoélectriques (doubles) sont reliés au micro-ordinateur par une interface adaptée [1]. Ceux-ci ayant été disposés le long de la trajectoire, on effectue la mesure des dates et des vitesses de passage en fonction de la distance parcourue (logiciel CHUTE). Étant donné la question, il est justifié d'étudier les représentations h(t) + v(t) (figure 1). On constate ainsi que l'allure semble simple pour v(t) et plus complexe pour h(t).

Une première estimation rapide de l'ordonnée à l'origine, et de la pente permet d'obtenir un premier tracé (fonction $y = ax + b$). Les paramètres peuvent alors être ajustés. La valeur trouvée pour la pente étant voisine de celle de l'accélération de pesanteur (g), on peut alors

essayer la fonction y = gx + b. L'adéquation aux données expérimentales est généralement très bonne, et les élèves adoptent cette relation faisant intervenir (de façon logique finalement) l'accélération de la pesanteur.

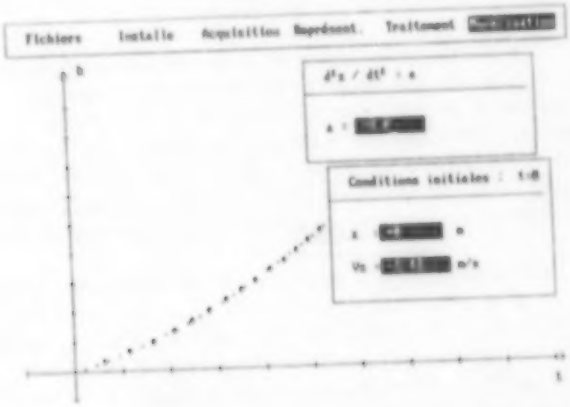
La détermination de l'équation h(t), se fait alors facilement. Les élèves ont en effet déjà étudié la chute libre du point de vue énergétique et connaissent la relation $v^2 = 2gh + vo^2$. Le calcul les amène à une équation du second degré (dont ils ne sont pourtant pas pour autant convaincus). À nouveau, le traceur de courbe va être utilisé pour confronter directement l'allure de la fonction calculée à la représentation h(t) des points expérimentaux. L'adéquation est également très bonne, et emporte la conviction de tous.



2.2.2 Cours: étude dynamique de la chute libre:

L'objectif est l'interprétation dans le cadre de la mécanique newtonienne. Le professeur introduit les éléments de mécanique du point et en particulier la première relation fondamentale de la dynamique. Il est alors possible d'effectuer la modélisation du phénomène: objet ponctuel de masse m, soumis à la seule action du poids (l'action de l'air étant considérée comme négligeable).

L'équation est alors entrée dans le logiciel et la résolution débute dès l'instant où les (deux) conditions initiales - déterminées par l'analyse expérimentale précédente - ont été entrées (figure 2). Le lien avec la solution analytique peut être ensuite établi.



2.2.3 Dernière séance: étude du mouvement sur un plan incliné

Cette étape est consacrée à l'étude du mouvement de glissement sur un plan incliné. Elle peut faire l'objet d'une nouvelle séance de travaux pratiques dans laquelle les données sont obtenues "en direct" (logiciel PLAN), ou d'une séance "travail en temps limité" dans laquelle les données expérimentales sont simplement fournies sous forme d'un tableau t(x) et v(x).

Dans tous les cas les élèves doivent trouver les relations empiriques x(t) et v(t), et, par une analyse théorique du système, établir l'expression de l'accélération: ($a = g\sin\alpha$), dont la valeur peut être comparée à celle déterminée expérimentalement.

DEUXIÈME PARTIE

LA ROBOTIQUE APPLIQUÉE AUX ADULTES EN FORMATION PROFESSIONNELLE

APPRENTISSAGE PAR L'ORDINATEUR DES CONCEPTS INFORMATIQUES UTILISÉS DANS LES SYSTÈMES À BASE DE MICROPROCESSEURS POUR LA CONDUITE DE PROCÉDÉS OU DE ROBOTS.

André BERNARDY
Anne AUBAN
Laboratoire d'Informatique Fondamentale
François BOUDIN
Laboratoire de Robotique de Paris

Résumé

La "maquette logique" de formation que nous décrivons est un système utilisant l'ordinateur à des fins pédagogiques pour la conception et la mise en oeuvre d'un système à base de microprocesseurs (SBMP), organe de pilotage et d'interfaçage d'une manipulation; il permet aussi l'aprentissage de la maintenance de ces SBMP.

Pour ce faire le public visé doit maîtriser les concepts suivants:

- la représentation et le traitement de l'information en machine ainsi que les grandes fonctions d'un ordinateur,
- les notions d'architecture et en particulier d'architectures parallèles (transputers),
- les aspects d'interfaçage qui peuvent être, soit fonctionnels (dans ce cas là l'accent sera mis sur la programmation des interfaces et la gestion des E/S en temps réel), soit plus technologiques (l'accent portera alors sur le choix et l'assemblage des composants physiques).

Dans cette optique, l'ordinateur est véritablement un robot pédagogique car il fournit les outils d'étude des concepts et les outils de développement pour conduire les manipulations en temps réel: nous souhaitons faire réaliser, par l'étudiant ou le stagiaire en formation continue, des dispositifs utilisant les composants professionnels du marché et les leur faire animer.

Pour répondre aux besoins de la formation professionnelle nous proposons un "package" d'autoformation (EAO, vidéo...) qui permet au stagiaire d'approfondir l'enseignement présentiel et lui permet d'acquérir à distance une partie des concepts.

Mots clés: SBMP - interface - transputer - temps réel - maintenance.

Abstract

The logical training mock up that we describe here is a computer based pedagogic system for learning how built and practice a microprocessors based system (MPBS), a set use to drive and interface a lab-experiment, or a robot. This learning system is too, able to practice the MPBS's maintain-training. To do all of that, it is necessary to handle the following concepts:

- the machine data representation (coding) and their processing
- the main functions of a computer
- the notions of architecture and in particular parallel architectures (transputers)
- the interfacing problems, in a functionnal point of view (programmation of interfaces and I/O management) or in a technological one (how to choose and fit together physical components).

Thus the computer is actually a pedagogic robot; it provides the tools for concepts study, and the software means to drive process in real time: we want the student or the vocational training learner, carries into effect a physical mock up made of the professional components of the market.

To answer the vocational training needs, we offer a selflearning package (CBT,video...) allowing to go deeply and to get alone, by distance learning, some of the concepts described above .

Key words: MPBS - interface - transputer - real time - maintenance.

Les organes de commande pour la conduite de procédés ou de robots sont de moins en moins construits autour de circuits logiques élémentaires, mais autour du composant à haute intégration: LE MICRO-PROCESSEUR. On peut considérer ce dernier comme un composant multi-fonction, assurant, au rythme d'une horloge, une succession de fonctions définies par un programme..

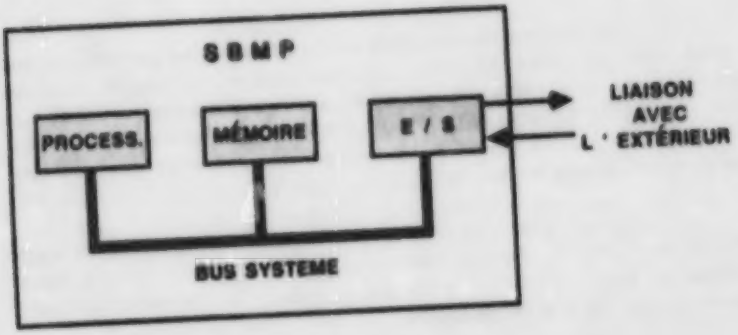
La conception et la mise en oeuvre d'un Système à Base de Micro Processeurs (SBMP) demande des spécialistes solidement formés. Nous proposons pour ce faire une "maquette logique de formation" utilisant l'ordinateur à des fins pédagogiques.

1- Qu'est-ce qu'un système à base de microprocesseurs?

Un système à base de microprocesseurs (SBMP) sera un système de traitement de l'information dont l'unité centrale, construite autour d'un ou plusieurs microprocesseurs est capable d'exécuter un certain nombre d'actions élémentaires et de fournir le contrôle nécessaire à leur enchainement dans le temps. Les échanges d'information avec l'extérieur se font dans les deux sens: en entrée (données) par l'intermédiaire de "capteurs", en sortie (résultats) par l'intermédiaire "d'actionneurs".

Pour réaliser un tel système nous concevons et réalisons une carte électronique interconnectant par l'intermédiaire d'un bus au minimum:

- un processeur
- une mémoire vive ou morte
- des interfaces d'échange d'information avec l'extérieur.



2- Intérêt d'un tel système

Un dispositif de commande, réalisé à base de "SBMP" est d'une grande souplesse d'utilisation: le passage d'une application à une autre, ou l'évolution et le développement d'une même application, ne remettant pas en cause l'ensemble du dispositif "matériel" (il suffira par exemple de changer ou de modifier le programme inscrit en mémoire morte); une modification de ce type aurait impliqué en logique conventionnelle un recablage et donc la modification des circuits imprimés.

D'autre part, ces systèmes permettent la gestion directe et en temps réel des applications.

3- Problèmes posés par l'utilisation d'un "SBMP"

- L'introduction de la logique programmée pose encore dans l'industrie le problème de l'adaptation des techniciens formés initialement à l'électromécanique ou à l'électronique classique.

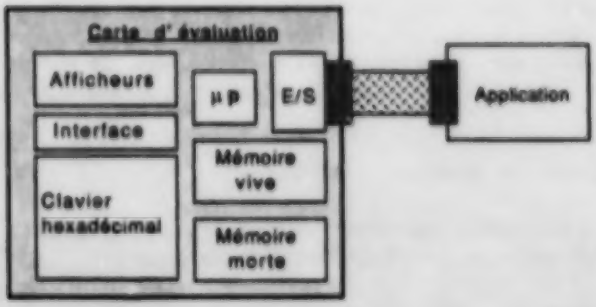
- Les microprocesseurs sont programmés mais leur environnement est câblé en fonction de l'application autour du microprocesseur choisi; aussi voit-on émerger une nouvelle qualification permettant de trouver

quelle est la meilleure répartition fonctionnelle entre "le matériel" et le "logiciel".

- La difficulté tient encore à la gestion des interruptions, prise en compte de signaux en temps réel, et du parallélisme. Cela n'est pas sans implication sur le choix et l'organisation des modules fonctionnels à assembler.

Ces problèmes restent cruciaux en ce qui concerne la maintenance des équipements.

Il est toutefois possible d'aplanir ces difficultés en utilisant des outils spécifiques en particulier un système de développement facilitant les tests et les mises au point. Il est intéressant de noter que certains produits pédagogiques du commerce (cartes d'évaluation par exemple) peuvent servir d'outils de développement.



4- Besoins de formation

Le champ d'application des microprocesseurs est très vaste (l'industrie, les télécommunications, l'agriculture, les arts ...) car leurs potentialités sont devenues très grandes. Toutefois le manque de compé-

tences réelles des utilisateurs freine le développement des applications. Il y a donc un grand besoin de formation des concepteurs, des utilisateurs, et des "réparateurs" de ces SBMP.

La difficulté vient du fait que le spécialiste à former est un "hybride": il doit être un bon programmeur ayant une bonne connaissance du matériel, (boîtiers fonctionnels spécialisés et complexes) et de la gestion des interfaces d'entrées-sorties. De plus il doit avoir un minimum de connaissances en électronique pour être capable d'assembler et de câbler les applications.

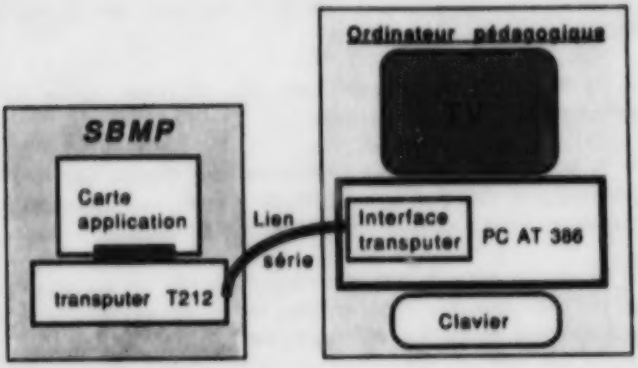
La formation de "l'architecte" de "SBMP" doit prendre en compte les aspects formels et théoriques de la conception et les aspects concrets du domaine de la réalisation.

L'évolution de l'architecture des machines doit répondre aux exigeances de performances de plus en plus grandes, performances attendues grâce à la très haute intégration des composants: on assiste ainsi à une véritable course technologique, et la formation doit répondre en temps réel aux besoins de mise à jour des connaissances. Actuellement un des domaines d'évolution sur le plan de la conception des "SBMP" est l'utilisation en parrallèle de plusieurs processeurs interconnectés (transputers).

5 - Les dispositifs de formation

La compréhension des "SBMP" nécessite la connaissance de la part du sujet d'un certain nombre de fonctionnalités des systèmes :

- notions d'information: représentation et traitement en machine
- notions de processeur et de mémoire
- notions élémentaires d'entrées-sorties
- notions d'architectures et en particulier d'architectures parrallèles (transputer).



Ces notions de base sont acquises par l'étude d'un micro-processeur du marché, intégré dans un dispositif expérimental. Il s'agit soit d'enseignements présentiels traditionnels soit de formations partiellement décentralisées grâce à un "package" d'autoformation (EAO, VIDEO, documentation écrite, ...).

L'étude du logiciel de base d'un microordinateur (héxadécimal, assembleur, moniteur de mise au point, éditeur de texte, éditeur de lien, chargeur...) permettra de comprendre les divers niveaux de traitement de l'information: partant d'un programme écrit par exemple en langage d'assemblage, nous montrerons comment il est réellement éxécuté sous forme d'actions élémentaires physiquement réalisables par des composants fonctionnels matériels. L'aspect "matériel", en particulier les interfaces, sera étudié dans le cadre concret d'une manipulation; pour l'animation d'une maquette le stagiaire fera le choix et l' assemblage des composants ainsi que les interconnexions. Cette double approche permettra à l'apprenant de savoir évaluer ce qui relève du matériel ou du logiciel, ce qui doit être câblé ou ce qui doit être programmé.

Notre souci est donc double: veiller à appliquer une méthode de programmation élaborée des entrée-sorties (gestion des interruptions),

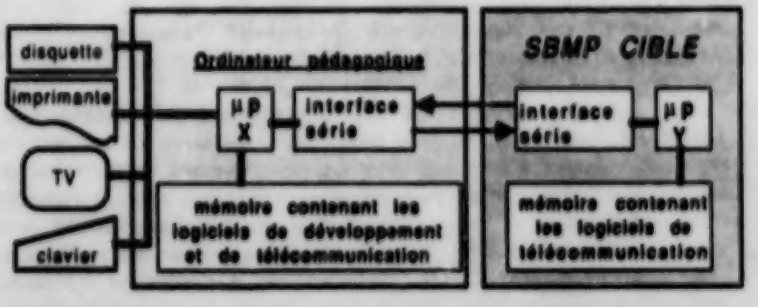
tout en exigeant une réalisation et une mise en action du processus expérimental.

La "maquette de formation" est donc organisée autour d'un microordinateur et de son logiciel de base.

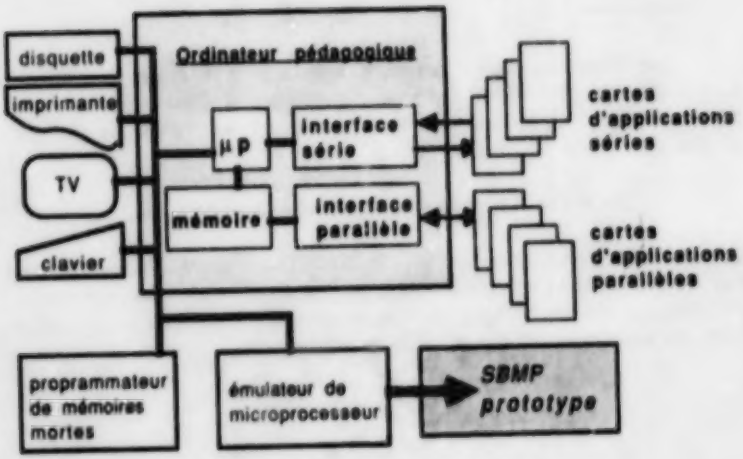
Si le microprocesseur de l'ordinateur dont dispose l'étudiant à des fins pédagogiques n'est pas celui du "SBMP" étudié, nous utiliserons un logiciel simulant le microprocesseur du "SBMP" sur l'ordinateur.

La mise au point du "SBMP prototype", se fera par émulation du SBMP sur le microordinateur; ce microordinateur pourra ensuite télécharger un programme d'action sur le "SBMP cible".

L'apprentissage des techniques de maintenance se fera sur le SBMP simulé.



Si l'ordinateur est muni du même microprocesseur que celui ou ceux du "SBMP" nous lui ajouterons un interface "série" et un interface "parrallèle" sur lesquels on pourra connecter diverses applications. Nous avons la possibilité de connecter un programmateur de mémoire morte pour des évaluations du "SBMP".



Les cartes applications que nous avons réalisées pour nos étudiants sont les suivantes:

- carte interface perforateur de ruban
- carte interface lecteur de ruban
- carte ROBOT 3 D (moteur pas à pas)
- carte moteur (courant continu)
- carte afficheur
- carte clavier
- carte MUSIQUE avec un haut-parleur
- carte puissance par la commande de relais
- carte graphique pour écran à mémoire
- carte feux de circulation
- carte DAC/ADC

L'ensemble de ces cartes permet le montage de travaux pratiques. Pour un problème posé, l'étudiant pourra valider réellement ses hypothèses et les solutions qu'il a élaborées, puisqu'il pourra animer des maquettes et commander des robots.

6- Conclusion

Notre "maquette logique de formation" crée un environnement d'apprentissage des SBMP permettant d'aborder, la plupart des concepts nécessaires à leur compréhension pour l'acquisition des techniques de base et des savoir-faire.

Elle donne les moyens de former à leur maintenance.

Sa conception et ses caractéristiques pédagogiques sont le fruit de la collaboration d'universitaires, impliqués dans des formations d'ingénieurs et de techniciens supérieurs, et d'industriels soucieux d'adapter leur personnel à ces nouvelles technologies.

ENSEIGNEMENT, CONCEPTION ET RÉALISATION D'AUTOMATISMES SÉQUENTIELS AVEC UN DIDACTICIEL DE CAO GRAFCET.

TEACHING, DESIGN AND PRODUCTION OF SEQUENTIAL AUTOMATIC CONTROLS WITH A GRAFCET CAD EDUCATIONAL SOFTWARE PROGRAM.

Bruno DIMA
Marc MANKA
Collège Montmorency

Résumé

Ce logiciel est un environnement intégré permettant l'étude, la conception, la simulation et la réalisation d'automatismes suivant la méthode GRAFCET. Il comprend un éditeur GRAFCET avec analyseur de syntaxe, un compilateur, un traducteur en équations booléennes orienté langage automate programmable, un simulateur/débogueur, un moniteur temps réel. Il permet de constituer un système GRAFCET complet avec l'ajout de cartes interfaces. Bien que conçu avant tout pour l'enseignement, ses performances et ses possibilités correspondent aux applications industrielles réelles. Si l'utilisation de la méthode GRAFCET pour la conception des automatismes séquentiels apporte de nombreux avantages, son enseignement et son intégration dans l'industrie posent de nombreux problèmes tant d'ordre pédagogique que matériel. Après un exposé de cette problématique, nous présenterons notre didacticiel, son expérimentation auprès de différentes clientèles et les résultats obtenus. Nous discuterons ensuite de nos travaux en cours pour améliorer le logiciel et des perspectives de la méthode GRAFCET.

Abstract

This program is an integrated environment that enables the user to study, design, simulate and produce automatic controls using the

GRAFCET method. It features a GRAFCET editor with a syntax parser, a compiler, a Boolean equation translator oriented to programmable logic controller language, a simulator/debugger, and real-time monitoring. By adding only I/O boards, the user can create complete GRAFCET systems. Although designed primarily for teaching purposes, the performance and possibilities of this program correspond to actual industrial applications. Using the GRAFCET method to design sequential automatic controls has many advantages. However, teaching the method and introducing it into industry poses a number of problems, both pedagogical and in terms of material resources. After examining briefly these advantages and problems, we will present the educational software program, the tests that have been carried out in a variety of settings, and the results obtained. We will then summarize our work in progress to improve the program and will look at future prospects of the GRAFCET method.

Descripteurs: GRAFCET, Automatismes séquentiels, Conception assistée par ordinateur (CAO), Langage d'informatique industrielle.

1. Avant-propos

Le domaine d'enseignement qui nous intéresse particulièrement est la formation des différents intervenants dans la conception et la réalisation des automatismes séquentiels industriels. La complexité toujours croissante de ces automatismes a entraîné la création de nouveaux outils et l'application de nouvelles méthodes, car les moyens de description traditionnels ne suffisaient plus. La méthode GRAFCET est celle qui recueille le plus de suffrages et, bien que simple à utiliser, elle permet de résoudre les problèmes d'automatisation les plus complexes. Cette méthode, qui figure dans les programmes d'enseignement des systèmes automatisés de nombreux pays, dont le Québec, est devenue une norme internationale (Norme CEI 848) en 1988. Pour que le GRAFCET soit plus qu'un outil de description fonctionnelle abstrait, et pour faciliter le travail des formateurs, nous avons créé un logiciel qui utilise cette méthode graphique comme langage informatique industriel pour concevoir et contrôler des automatismes à partir d'un micro-ordinateur. Ce didacticiel s'adresse aux élèves, aux étudiants et aux professeurs (ou

formateurs) des niveaux secondaire, collégial et universitaire, dans le cadre de la formation régulière, aux adultes ou en entreprise. Les disciplines visées sont les suivantes: automatique, robotique, mécanique et électrotechnique.

2. Problématique

L'apparition des premiers automates programmables industriels, au début des années 70, a révolutionné l'automatisation. Pour des raisons d'habitudes, ce sont surtout les schémas électriques qui ont été utilisés pour la programmation et la documentation des automatismes (langage à contact et diagrammes en échelle). Très vite cependant, la complexité des automatismes et des automates programmables a fait apparaître la limite de cet outil: un schéma électrique peut être utilisé à la place d'équations booléennes mettant en relation les entrées, les sorties et les variables internes mais n'a que peu de rapport avec un langage de programmation. En effet, cette liste d'équations (logique combinatoire) ne contient aucun élément de description du fonctionnement de l'automatisme (logique séquentielle). La programmation d'un automate en code machine permet de mieux utiliser les possibilités de l'automate, mais ajoute aux défauts précédents une lisibilité moindre, une portabilité pratiquement nulle et des besoins de formation accrus. Cette approche traditionnelle rend la maintenance difficile, la mise au point longue et nuit à la compréhension entre les différents intervenants d'un automatisme. Il fallait donc créer de nouveaux outils permettant de définir des spécifications d'une manière simple, complète et sans ambiguïté, permettant de réaliser une documentation facilement interprétable, capable de décrire le fonctionnement de n'importe quel automatisme séquentiel, permettant de corriger et de modifier une application par une approche structurée, modulaire, facilement adaptable aux progrès technologiques.

Il y a presque 15 ans qu'un groupe d'étude de l'AFCET (Association Française pour la Cybernétique Économique et Technique) s'est réuni en France pour résoudre "le besoin urgent d'unifier et de rationaliser les «langages de description» relatifs aux systèmes logiques en général et aux automatismes séquentiels en particulier" (GREPA, 1985). Les travaux

de ce comité (composé d'universitaires, de constructeurs et d'utilisateurs), puis ceux de l'ADEPA (Agence pour le DÉveloppement de la Productique Appliquée à l'industrie) ont conduit à la définition d'un diagramme fonctionnel: le GRAFCET (GRAphe Fonctionnel de Commande Étape/ Transition). "Ce diagramme fonctionnel permet de décrire les comportements attendus de l'automatisme de commande face aux informations qu'il reçoit en imposant une démarche rigoureuse, éventuellement hiérarchisée, évitant ainsi les incohérences, les blocages ou les conflits dans le fonctionnement. À chaque niveau de description, ce diagramme peut être affiné et corrigé sans nécessiter la remise en cause des parties déjà étudiées" (Norme française NF C03-190, 1982). Le GRAFCET s'inspire des réseaux de Petri et répond à un modèle formel rigoureux. Sa ressemblance avec les ordinogrammes et les langages informatiques de haut niveau (approche fortement structurée, modulaire, permettant des processus parallèles) a permis son implantation sur ordinateur pour devenir à la fois un outil de conception assistée par ordinateur et de contrôle d'automatismes en temps réel. Des méthodes d'implantation plus ou moins directes existent pour les automates programmables.

La description du fonctionnement d'un automatisme séquentiel au moyen du GRAFCET se fait à l'aide de symboles simples: étapes, transitions, liaisons. Les étapes, auxquelles sont associées les actions, déterminent ce qui doit être fait par le système. Les transitions, auxquelles sont associées les réceptivités, déterminent ce qui fait évoluer le GRAFCET. Les liaisons orientées, entre les étapes et les transitions, déterminent dans quel sens évolue le système. Les autres symboles utilisés permettent de représenter des aiguillages (divergences et convergences en «OU»), des activations simultanées de sous-ensembles d'étapes (divergences et convergences en «ET») et de macro-représentations permettant de hiérarchiser et de structurer la programmation.

Malgré sa simplicité et ses nombreux avantages, cette méthode est encore peu utilisée dans l'industrie, au moins en Amérique du Nord. Les principales raisons viennent de sa nouveauté, de ses implications sur la formation du personnel et du matériel GRAFCET disponible.

Le GRAFCET est une nouvelle méthode et, si elle est largement acceptée en Europe, la norme internationale est très récente. Actuellement, ce sont les plus grandes entreprises, comme Hydro-Québec, qui l'utilisent pour leur cahier des charges, leur documentation et leur programmation. L'effet d'entraînement de ces grandes entreprises et l'apparition d'automates programmables ou de micro-ordinateurs industriels directement programmables en GRAFCET devraient amener les petites et moyennes entreprises à découvrir les avantages de cette méthode. Elles devront toutefois assurer une formation minimale à leur personnel car l'approche qui prévaut avec le GRAFCET est la description du fonctionnement de l'automatisme plutôt que sa réalisation technologique. Le GRAFCET devrait pénétrer rapidement tous les domaines de l'automatisation car, en plus des avantages décrits, il est admis qu'il permet de réduire de 5 à 10 fois le temps de programmation d'un projet d'automatisation complexe.

3. Présentation du logiciel

Ce logiciel a été réalisé avec l'aide professionnelle et financière de la Direction générale de l'enseignement collégial du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science du Gouvernement du Québec.

«LE GRAFCET» est un environnement intégré qui se veut convivial pour permettre l'étude, la conception, la simulation et la réalisation d'automatismes suivant la méthode GRAFCET avec un micro-ordinateur. Il fonctionne sur les micro-ordinateurs IBM-PC et compatibles, équipés d'une carte vidéo graphique couleur et d'un lecteur de disquettes. À l'exécution, ce logiciel présente d'abord à l'étudiant un menu principal avec la liste des fichiers GRAFCET, les fonctions principales (édition, traduction, impression, simulation et exécution de GRAFCET) et quelques fonctions utilitaires. Au cours d'une séance de travail, l'étudiant n'a donc pas à sortir du logiciel. Toutes les fonctions nécessaires ou utiles à la conception d'un GRAFCET et à la commande d'un automatisme sont accessibles à partir de ce menu principal.

L'éditeur GRAFCET affiche les fonctions principales de dessin et l'utilisateur n'a pas de règle particulière à observer pour l'édition de son GRAFCET. Il a toute liberté pour créer son dessin dans un espace de 255 lignes par 255 colonnes. Dans cette matrice, il peut placer 3 500 symboles dont 1 000 étapes et 1 000 transitions. L'éditeur comprend également un analyseur de syntaxe GRAFCET qui analyse l'environnement du curseur et empêche toute erreur de dessin. Cet analyseur a deux fonctions: désactiver les fonctions d'édition qui entraîneraient des erreurs et fournir à l'utilisateur des explications sur ces interdictions.

Le dessin du GRAFCET doit être complété par l'ajout de commentaires pour une meilleure compréhension et, bien sûr, par les équations logiques et les actions associées aux étapes et aux transitions. Les équations logiques ont une longueur maximum de 400 caractères et les opérateurs disponibles sont les suivants: ET, OU, NON ainsi que les parenthèses. Les actions des étapes agissent sur les sorties, les compteurs et les temporisateurs, et permettent le forçage d'étapes; les actions sur les sorties peuvent être conditionnelles.

La traduction d'un GRAFCET en langage d'automate programmable peut se faire à n'importe quel moment de l'édition ou à partir du menu principal. Le tableau de traduction représente une des traductions possibles du GRAFCET en langage booléen et permet une programmation directe sur automate.

La simulation et l'exécution d'un GRAFCET sont aussi accessibles à n'importe quel moment d'édition ou à partir du menu principal. Le passage de l'édition à la simulation, ou l'inverse, se fait avec une seule touche. Pour pouvoir simuler un automatisme, le logiciel possède: 40 entrées, 40 sorties, 50 temporisateurs et 50 compteurs. Les 28 premières entrées peuvent être activées par les touches du clavier. En simulation, un GRAFCET peut avoir jusqu'à 100 étapes actives et 100 transitions validées. Les étapes actives sont visibles à l'écran et le dessin se déplace (scrolling) pour suivre l'évolution du GRAFCET. La mise au point est facilitée par un mode pas-à-pas et une possibilité de forçage des transitions. Un moniteur permet d'observer l'état des entrées, des sorties, des compteurs

et des temporisateurs. Une touche permet d'activer les cartes interface d'entrées/sorties numériques et de passer de la simulation au contrôle d'automatismes en temps réel. Le logiciel permet de configurer et d'initialiser les cartes interfaces.

La fonction d'aide, accessible en tout temps, donne accès à des menus pour des explications plus détaillées. Le manuel de l'utilisateur comprend un tutoriel d'environ 40 pages avec 13 exemples progressifs d'utilisation du logiciel et d'apprentissage de la méthode GRAFCET.

4. Expérimentation et approche pédagogique proposée

Quelques professeurs d'électrotechnique ont utilisé le prototype du logiciel dès janvier 1989. Une présentation de la version expérimentale du logiciel a été faite au Colloque des professeurs d'électrotechnique du réseau collégial au moins de juin 1989. Au mois de septembre 1989, 32 départements d'électrotechnique sur les 36 des collèges de la province avaient demandé la version expérimentale. La verison (1.0) a été diffusée dans les collèges à la fin décembre 1989. Début janvier 1990, un séminaire sur la «didactique des systèmes automatisés» a été donné à 17 professeurs d'électrotechnique. Un questionnaire a été distribué à la fin du cours pour évaluer le logiciel et son impact sur l'enseignement des automatismes.

Il a été proposé aux professeurs une stratégie d'enseignement essentiellement axée sur l'acquisition des connaissances par la résolution de problèmes et la réalisation de projets. Cette stratégie a été testée de nombreuses fois auprès des étudiants dans des cours utilisant l'ordinateur comme moyen d'enseignement. Une activité type comprend un exposé, généralement court, sur un point de théorie précis immédiatement suivi par une série d'exercices qui ont des objectifs différents: les premiers servent à appliquer et à comprendre le point de théorie; les suivants permettent de mettre en évidence les erreurs à éviter; les derniers sont destinés à approfondir et à relier entre elles les connaissances acquises.

L'expérience montre que 75% à 80% du temps de cours disponible doit être consacré à la pratique (avec micro-ordinateur) et le reste à la théorie. Le professeur doit donc avoir une banque d'exercices assez riche et variée pour y puiser des exemples supplémentaires pour les étudiants ayant des difficultés d'apprentissage et des exercices «défi» pour les étudiants les plus doués qui ont parfois tendance à se désintéresser d'une activité jugée trop simple.

Quand le niveau de connaissances devient suffisant, les exercices deviennent des mini-projets. Le cahier des charges proposé est volontairement incomplet et le professeur incite les participants à ne plus penser «scolaire» mais «industriel». Les différents niveaux de la méthode GRAFCET et son approche progressive permettent de simuler le dialogue nécessaire entre les automaticiens et les autres intervenants (départements d'entretien, de production, etc.). C'est à ce stade que le participant est appelé à penser à la sécurité du personnel et du matériel, aux différents modes de marche et d'arrêt. Les participants ont à soumettre des sujets de projets, ce qui permet à chacun de jouer le rôle de l'automaticien, mais aussi celui de responsable de production et de modérateur vis-à-vis des «extrémistes» de la perfection qui oublient les dimensions coût et temps d'un projet.

5. Résultats

La clientèle la plus enthousiaste a certainement été celle des professeurs, car ils se trouvent confrontés à une matière nouvelle à enseigner avec peu d'outils pour appliquer ou faire comprendre la méthode GRAFCET. Les professeurs ont utilisé le logiciel dans le séminaire pendant plus de 40 heures en moyenne avant de répondre au questionnaire. Ils sont «tout à fait d'accord» pour dire que le logiciel facilite leur travail, facilite le travail de l'étudiant, permet de faire plus d'exercices et de voir plus de matière dans un temps donné, motive et intéresse davantage les étudiants aux automatismes. Ils sont «d'accord» pour dire que le logiciel favorise un enseignement plus individualisé, facilite le dialogue professeur-étudiant et permet de consacrer moins de temps à la théorie. Aucun des

répondants n'a été «pas d'accord» ou «pas du tout d'accord» avec les propositions précédentes.

Plusieurs groupes d'étudiants de l'Éducation des adultes ont utilisé ce logiciel avec succès même si beaucoup d'entre eux n'avaient jamais utilisé de micro-ordinateur. Nous avons constaté qu'en deux heures, une personne n'ayant jamais touché un clavier pouvait dessiner un GRAFCET simple et qu'en quatre heures, il était possible de voir les bases de la méthode GRAFCET, ce qui prenait de 12 à 15 heures auparavant. Cette clientèle, des techniciens confrontés à des problèmes d'automatismes pour la plupart, n'hésitera pas à essayer plusieurs solutions pour un exercice donné.

Notre clientèle régulière, enfin, est plus familière avec les micro-ordinateurs et avec des programmes de CAO et DAO sophistiqués. L'attrait du micro-ordinateur joue moins pour ceux qui apprennent la méthode GRAFCET avec le logiciel et il est rare qu'ils cherchent plusieurs solutions à un exercice. Cet intérêt revient en troisième année, particulièrement pour la réalisation de projets tels que la commande d'un ascenseur 5 étages ou le contrôle d'un robot et de ses convoyeurs.

Notre expérimentation se limite donc pour le moment aux départements d'électrotechnique bien que nous soyons convaincus que notre logiciel pourrait être utilisé dans d'autres disciplines, dans les universités et au secondaire. Le Collège Montmorency tente actuellement de mettre en place des séminaires et des cours de formation sur mesure pour les industries locales.

6. Travaux en cours

La méthode GRAFCET touche le champ très vaste des automatismes. Nos ambitions au départ étaient limitées à la simulation mais nous avons constaté qu'en ajoutant la possibilité de contrôler directement des automatismes à un coût très faible, le logiciel prenait une autre dimension. Nous avons développé, sous forme de kit, une carte interface de 48 entrées sorties opto-isolées avec des caractéristiques semblables à

celles des automates programmables pour un coût de 200$ environ. Nous travaillons sur une nouvelle version qui accepterait plusieurs de ces cartes ainsi que des cartes analogiques, en développement actuellement, comprenant 2 sorties et 4 entrées différentielles avec des conversions sur 12 bits. Des opérateurs et des variables analogiques seront ajoutés au logiciel pour permettre de réaliser des asservissements et des contrôles de procédés. À cette version, seront ajoutés des éléments de GRAFCET avancé: macro-étapes, sous-GRAFCET, ordres de forçage et de figeage, affichage et saisie de données. Enfin l'environnement logiciel sera amélioré avec des fonctions d'édition avancées comme le zoom, le déplacement et la copie de blocs, avec une traduction des GRAFCET en fichiers graphiques DXF (AutoCad), avec un compilateur optimisé et des outils de mise au point, etc.

7. Conclusion

Avec l'apparition d'outils GRAFCET de plus en plus nombreux et de plus en plus abordables, cette méthode devrait s'imposer en Amérique du Nord comme elle l'a fait en Europe. La norme, telle que publiée, est décevante et probablement temporaire parce qu'elle ne tient pas vraiment compte des travaux, pourtant largement acceptés, sur les nouveaux concepts du GRAFCET. Le modèle GRAFCET est très puissant et il ne faut surtout pas s'arrêter à sa simplicité apparente. En programmation, on peut très bien considérer une étape comme un objet contenant des actions simples, mais aussi exécutant des programmes, d'autres GRAFCET, gérant des communications sur un réseau pour le transfert de programmes ou d'informations. Un comité international étudie actuellement l'informatisation du GRAFCET et cette méthode pourrait alors être appliquée dans un cadre plus général de cellules de fabrication flexibles et de gestion de la production assistée par ordinateur.

8. Bibliographie

BOSSY, J.C., BRARD, P., FAUGERE, P. et MERLAUD, C. (1979). **Le Grafcet, sa pratique et ses applications**. Éducalivre.

BOUTEILLE, D. (1987). **Les automatismes programmables**. Cépadues-Éditions.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE (1988). **Norme CEI 848, Établissement des diagrammes fonctionnels pour systèmes de commande**.

GREPA (1985). **Le GRAFCET, de nouveaux concepts**. Cépadues-Éditions.

UNION TECHNIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ (1982). **Norme française NF C03-190**.

LA RECONVERSION D'OUVRIERS SPÉCIALISÉS: UN DÉFI POUR LA MICRO-ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE

Christophe PARMENTIER
Martial VIVET
Jérôme BRUNEAU
Laboratoire d'Informatique
Université du Maine

Recherche supportée par le Ministère de la Recherche et des Technologies (MRT) / Projet "QUADRATURE"

Résumé

L'introduction des nouvelles technologies dans les entreprises de fabrication implique de nombreuses reconversions notamment celle des populations de bas niveau de qualification. Elle soulève inévitablement le problème de l'efficacité des actions de formation visant le développement de nouvelles compétences effectives dans les activités professionnelles liées aux logiques de processus automatisés dans un environnement de production flexible.

Différentes expériences convergent et montrent que les méthodes d'enseignement traditionnelles et générales sont souvent mises en échec car elles n'ancrent pas les bases nécessaires à la compréhension des nouveaux mondes techniques et insécurisants aux savoirs déjà acquis lors de la formation initiale ou par l'expérience des opérateurs en poste.

Ces remarques ont amené à penser une démarche pédagogique construite à partir des situations de travail en ligne automatisée et des savoirs professionnels de référence. Les réponses proposées dans cet article utilisent les premiers résultats expérimentaux du projet "Quadrature" pour plaider en faveur d'une pédagogie du projet utilisant des micro-mondes robotiques adaptés comme générateur du projet.

Abstract

Answering a call for a project proposal order from the National Research and Technologies Office, our personnel was selected because we want to use modular micro-robots to help "low level qualified" adults acquire new skills. Beyond the traditional frame of simulation, three hypotheses support this research: New Technologies must can allow workers to gain fresh necessary basic knowledges involved in their new jobs; some pedagogical tasks of building micro-robots and working with real robots on the other hand, can be isomorphic; training sessions using modular micro-robots proceed from recognition of invariants involved in both situations:

Training situation <=> Working situation.

First results shown in this paper prove that the tools are relevant for vocational reconversion operators so that they will be able to work on an automated production line. Through the handling of these micro-robots, they will acquire basic knowledge. But there remains one problem of prime importance: the didactical transfer of knowledge and abilities.

1. Introduction

La micro-robotique pédagogique peut être définie comme une activité de conception, créationnelle en soumis, à des fins pédagogiques, d'objets techniques physiques qui sont des réductions aussi fidèles et significatives que possible de procédés et outils robotiques réellement utilisés dans la vie courante, en particulier en milieu industriel.

À partir de cette définition, certains travaux menés dans le cadre du Laboratoire d'Informatique de l'Université du Maine (LIUM) du Mans, ont permis le développement d'outils: interfaces et logiciels nécessaires au pilotage de robots. Ces outils contribuent à développer des environnements d'apprentissages à intégrer lors de démarches de formation. Il s'agit essentiellement de robots pilotables, depuis des micro-

ordinateurs, le plus souvent en LOGO. Ils intègrent des démarches spécifiques concernant l'apprentissage puisqu'ils permettent de créer des micro-mondes au sens défini par S. Papert dans la suite des travaux de J. Piaget.

La modularité recherchée et la progression que ces outils permettent d'élaborer, les rendent particulièrement adaptables comme moyens utiles à la réalisation d'objectifs pour une formation générale du personnel en reconversion vers des fonctions mixtes en relation avec des dispositifs automatisés ou des robots. Par ailleurs, elles permettent une véritable activité de résolution de problèmes mettant en œuvre des démarches inductives et s'intégrant dans le cadre d'une formation plus générale. Une gamme d'outils, essentiellement des micro-robots pilotables en LOGO, a été expérimentalement introduite. Elle comprend notamment :

- Différentes tortues LOGO de sol, et la CARISTO : chariot élévateur de carton répondant à des commandes similaires à celles disponibles avec la tortue.
- Boîtes Fischertechnik de robots montables par les apprenants. Elles permettent d'observer, d'assembler dans une transparence, un certain nombres d'éléments techniques et de contrôle mécaniques, électroniques, électromécaniques, logiciels de commande des processus de base,... (Cf. Annexe 2).
- Bras manipulateur Yaupi utilisable en résolution de problèmes par la mise en œuvre de fonctionnalités locales (bloquage de mouvement,...).
- Cellule flexible AFX : cellule de table construite en Fischertechnik, permettant d'appréhender globalement la synchronisation de machines et la planification de tâches sur un ensemble de machines.
- Système Pédagogique Flexible (SPF Gaudry 90, Schoefs 93) : réduction en salle d'une ligne de production flexible. Ce système très complexe est notamment dédié à l'enseignement des concepts liés à la flexibilité et à la gestion des flux de production. Il s'agit notamment de former à la prise décision dans la conduite d'ateliers en production par lots soumise à des aléas.

Ces outils intègrent des démarches spécifiques concernant l'apprentissage puisqu'ils s'articulent sur des progressions de complexité technologique croissante permettant de gérer des environnements correspondants à des objectifs pédagogiques spécifiés dans chaque cas. Il s'agit évidemment de créer les conditions d'apprentissages basées sur l'activité de l'apprenant en intégrant les concepts de l'EAO. À terme, la finalité est d'aboutir à une totale (E)XPLORATION (A)SSISTÉE par (O)RIENTATEUR. Il a déjà été souligné que l'exploration dans son cheminement classique ne permet pas systématiquement la découverte spontanée des éléments les plus pertinents offerts par l'environnement. En l'absence d'un guidage dans des activités de résolution de problèmes et de conduite des projets des élèves, l'échec est proche. En effet, ni le rôle du formateur (Vivet, M., 1981), ni même l'observation de la relation tripartite apprenant enseignant machine, ne peuvent être réduits voire oubliés. Ces outils favorisent également des activités situées au niveau :

- de démarches cognitives fondamentales (anticipation, planification de l'action...) à établir en amont de formations professionnalisantes,
- de contenus plus traditionnels (du type calcul, géométrie dans l'espace...), mais aussi de lecture c'est à dire donner un sens à un message lu,
- des acquisitions spécifiquement utilisables et directement liées aux technologies employées, comme celles nécessaires aux fonctions en poste liées à l'utilisation d'automates.

2. Cadre théorique

Attestée par de nombreux travaux issus de la psychologie cognitive, certains apprentissages découlent des problèmes et démarches de résolution liées. Or, dans le cadre institutionnel de la formation initiale ou continue, la démarche de résolution existe lorsque l'apprenant est placé en situation-problème déterminée par le matériel didactique investi. Cette dernière est une forme d'utilisation des connaissances acquises mais surtout le moteur d'activités qui permettent à l'apprenant de construire ses représentations. Celles-ci peuvent être exprimées de manière implicite, par la manipulation des objets et des informations, puis

traduites sous forme de théorèmes en acte au sens défini par G. Vergnaud par exemple. Elles seront enfin explicitées, socialisées par différentes médiations dont celle du formateur. Alors intervient l'usage du langage naturel ou informatique. La finalité est de permettre aux apprenants une activité les conduisant à exprimer par un langage informatique ou naturel des solutions et démarches de résolution pour pouvoir les communiquer ensuite à d'autres, voire à une machine.

La notion de transfert paraît centrale à l'explication de l'efficacité de connaissances et de compétences utilisées dans des situations professionnelles différentes de celles créées artificiellement en formation. En effet elle détermine l'utilisation d'un savoir acquis par une expérience contextualisée dans une situation différente présentant toutefois des caractères isomorphes. Ce passage ne peut s'effectuer qu'à la suite d'une reconnaissance, établie par le sujet, des invariants présents lors de situations isomorphes. L'utilisation dans les démarches de formation professionnelle d'une "ingénierie didactique" issue des technologies nouvelles, et plus particulièrement, liées au traitement automatique de l'information, nécessite que les conditions de ces transferts soient rigoureusement décrites.

La médiation intervient nécessairement dans le cadre de situations professionnelles nécessitant des transferts fortement conditionnés par les interactions sociales. La présence du formateur, du groupe en formation, des institutions mais aussi des machines implique à nouveau que les démarches soient clairement explicitées pour être appropriées, puis accompagnées, enfin comprises par le sujet en formation. La situation de référence étant la situation professionnelle, une connaissance approfondie du profil de poste et des diverses connaissances en œuvre pour la fonction sont nécessaires à l'élaboration de situations pédagogiques pertinentes ainsi qu'à l'accompagnement des transferts potentiels.

La recherche en cours propose donc d'approfondir spécifiquement ces premières approches par une étude systématique des processus d'acquisition de compétences professionnelles menées avec les outils proposés. Comme il a été montré, cette étude est construite en

intégrant la démarche piagétienne de construction des savoirs, elle est complétée par des recherches plus spécifiques concernant les problématiques d'acquisition ou de régression cognitive par des populations d'adultes peu qualifiées.

3. Cadre humain et contexte industriel

3.1 L'entreprise

En 1983, une entreprise spécialisée dans la fabrication des systèmes de transmission de mouvement pour véhicules automobiles, décide une restructuration profonde des moyens de production. Celle-ci consiste à mettre en place, entre 1986 et 1990, des lignes flexibles de production automatisées organisées par produits. Cette restructuration devait s'accompagner d'une profonde requalification d'une partie du personnel de fabrication composé à 80% d'ouvriers spécialisés affectés essentiellement à des tâches de manipulation de pièces et d'exécution simples.

En 1985, un plan de formation a été lancé. Il était inspiré des tous premiers programmes de formation professionnelle définis par l'Education Nationale (CAP), et comprenait environ 500 heures de formation générale et technologique et 350 heures d'électromécanique et d'automatisme. Au rythme d'un jour par semaine, le cycle total couvrait 2 ans et 1/2. Il devait permettre à des ouvriers ayant un niveau voisin du certificat d'études primaires, parfois façonnés par 15 à 20 ans de travail répétitif dans une organisation taylorienne, de devenir responsable en équipe de la réalisation d'un programme de fabrications et de performances complexes.

3.2 La population expérimentale

Il s'agit d'une population ouvrière stable ayant acquis une ancienneté moyenne de 15 à 20 ans dans l'usine. Ces ouvriers ont vu se succéder les cadres et dirigeants, les machines et les "modes". Sur leur lieu de travail, les opérateurs ou conducteurs ont leurs propres repères; ils se savent la "cheville ouvrière" de l'usine. Pourtant, la mise en ligne flexible impose une évolution plus importante que les modes. Les

opérateurs sont contraints à l'évolution. Celle-ci ne les touche pas seulement dans leurs fonctions, c'est plus généralement toute leur vie d'usine qui s'en trouve modifiée voire affectée.

L'arrivée des lignes est l'occasion d'une profonde prise de conscience: certaines tâches effectuées jusqu'alors par les opérateurs sont réalisées par des robots. Les anciens opérateurs revendiquent leur savoir faire et le désir de ne plus être à nouveau remplacé par une machine, accompagne cette prise de conscience. Comme en témoigne ce propos extrait en janvier 1981 de "l'Avis et rapport du conseil économique et social - l'avenir de la robotique", ce constat n'est pas spécifique à l'entreprise: "Les travailleurs ressentent souvent l'automatisation comme un facteur de déqualification car une grande partie du "savoir ouvrier" est mémorisé dans le programme de la machine robotisée et devient inaccessible".

Aucune expression ne témoigne par contre d'une réelle vision distanciée de la ligne. Si les anciens opérateurs devenus conducteurs cherchent maintenant à s'affranchir totalement de leur ancien rapport à la machine, ils n'analysent pas encore leur nouvelle dépendance à la ligne qu'ils ne seront sans doute prêts à intégrer que lors des prochaines mutations technologiques.

3.3 La formation déjà réalisée

Avant d'analyser spécifiquement les buts et contenus de la formation, quelques points d'organisation qui la conditionnent tout particulièrement, peuvent être soulignés.

Certaines études internes permettent de considérer qu'une ligne de production fournit un rendement égal à celui de la configuration antérieure dans un délais de 3 mois. Néanmoins, à ce terme, la production de la ligne ne peut être considérée comme stabilisée. D'autres études intégrant les amortissements, l'harmonisation de la production avec les autres lignes considèrent 6 mois à un an avant de stabiliser une ligne. Implicitement, ces mêmes délais seraient donc offerts comme marge de

manoeuvre pour l'efficacité du personnel. Ils intègrent donc de fait la possibilité d'une formation sur site.

À la suite de leur formation certains opérateurs ne sont pas immédiatement mis en ligne. La formation reçue n'implique donc pas la mise en ligne flexible. Les connaissances qui ont été alors acquises sont donc utilisables ailleurs qu'en ligne. Réciproquement, certains conducteurs ont été mis en ligne et réussissent fort bien en poste sans pour autant avoir suivi le cycle de formation. La formation organisée n'est donc pas indispensable aux fonctions de conducteur de ligne.

Pour les conducteurs de ligne, ces éléments relevés permettent de révéler certains points particulièrement significatifs comme l'importance de la formation sur le lieu de travail. Ils soulignent également l'articulation nécessaire qui devrait alors exister entre la fonction et les partenaires de sa formation afin que les connaissances et capacités acquises en formation puissent être transférées et utilisées en poste.

La formation générale dispensée pour la reconversion de ces ouvriers à la fonction de conducteurs de ligne a principalement une fonction sociale puisque les connaissances spécifiques sont acquises sur site. Cette volonté était explicite dans les intentions des promoteurs de cette formation. Les premiers contenus de la formation dite générale (économie générale, instruction civique, histoire, géographie...) en témoignent. La fonction de "reproduction" telle que la définissent Bourdieu et Passeron semble présente dans la mise en place de cette formation. Néanmoins, elle est confrontée au mouvement des cadres et dirigeants ainsi qu'à l'irruption des nouvelles technologies qui conduisent à modifier cette volonté implicite.

Au regard des constats précédents le rôle de la formation n'est pas seulement lié à la fonction. Certains propos d'opérateurs ou conducteurs ayant suivi la formation convergent :

En fonction des individus, la remise en cause du module de formation générale est partielle voire totale. Celle-ci semble toutefois

proportionnelle au niveau de difficulté rencontré pour suivre les enseignements dispensés dans ce cadre. Malgré certaines ambivalences, par son existence, cette formation déculpabilise partiellement d'éventuels échecs de la scolarité antérieure puisqu'elle les considère. Les stagiaires qui ont vu leur formation assez rapidement associée à un changement d'échelon (passage d'OS à P1) s'accordent à dire que cette formation leur est utile dans la vie courante et notamment en situation d'exercice de pouvoir comme par exemple pour suivre les études de leurs enfants. Les plus motivés vont même jusqu'à témoigner de l'intérêt de la formation en français pour leur expression, orale avec les hiérarchiques, ou, écrite pour la communication de messages sur la ligne. Hormis ces remarques, l'intérêt d'un enseignement général pour la fonction de conducteur de ligne est massivement controversé par les stagiaires.

Les critiques à l'encontre du module de formation technique sont moins vives. Aucun stagiaire ne remet en cause son existence. Si certains revendiquent le droit à une plus large utilisation des connaissances acquises lors de leur travail en ligne, classiquement, les critiques concernent plutôt la durée souvent jugée trop courte et l'ordre des enseignements.

Plus essentiel que la formation, les conditions du transfert entre les connaissances acquises en formation et l'expression de celles-ci sur le site de travail sont posées. En deux années de cours, les stagiaires acquièrent des connaissances, améliorent sans doute leur esprit d'analyse, travaillent en équipe à l'extérieur de l'usine ou les échanges de régulation lors des temps informels sont facilités, enfin, ils obtiennent socialement un nouveau statut et une nouvelle confiance en eux. Il est nécessaire que l'entreprise offre alors de nouveaux espaces pour l'expression de l'ensemble de ces potentialités fraîches et les reconnaissent. À défaut, celles-ci risquent de s'ériger en réaction.

En tenant compte de l'ensemble de ces préalables épistémologiques, psychologiques, informatiques et robotiques, sociologiques voire économiques, dans une première phase, cette formation générale va donc être modifiée par l'introduction expérimentale de micro-robots modulaires

Fischertechnik. Dans le cadre de la réponse à l'appel d'offre du Ministère de la Recherche et des Technologies, en accord avec les différents partenaires, les actions expérimentales de formation, utilisant les outils proposés par le Laboratoire d'Informatique de l'Université du Maine seront réalisées.

4. Action expérimentale

4.1 Projet pédagogique

Dans la logique d'une recherche conduite en didactique, il s'agit de créer des effets, d'analyser l'introduction de micro-robots modulaires dans la formation générale de conducteurs de lignes flexibles. Compte tenu des constats précédents, ces outils devraient permettre de rendre des savoirs de type académique issus de la tradition scolaire (français, mathématiques...), opérationnels en poste sur ligne de production automatisée. Pour cela, les micro-robots pédagogiques sont utilisés comme les éléments d'une remédiation partant des savoirs de références utiles à la fonction.

4.2 Finalité

- *Créer des effets; analyser l'introduction de micro-robots modulaires dans la formation générale des conducteurs de lignes flexibles .*
- *Inscrits dans le cadre de la formation générale, les enseignements seront en partie décloisonnés, conduits en équipe et par projet.*
- *La démarche mise en oeuvre sera construite en deux phases distinctes et articulées.*

4.3 Buts

Découvertes et premières manipulations des briques modulaires Fischertechnik, des micro-ordinateurs, du langage et des interfaces. Il s'agit d'articuler entre eux les éléments mécaniques, électriques et logiciels nécessaires au fonctionnement d'un micro-robot.

Favoriser une découverte descendante partant d'un objet fini pour retrouver les diverses fonctionnalités de ses constituants. Cette découverte est conduite à partir d'un micro-robot simple, déjà construit, facilitant les investigations et permettant des modifications.

4.4 Matériel

Il est mis à disposition: un micro-robot, le logiciel, l'interface et le micro-ordinateur correspondant, par équipe de deux stagiaires.

Le premier micro-robot utilisé est un bras manipulateur comportant à la base une roue dentée permettant sa rotation (Cf. annexe 1 mouvement de rotation). Celle-ci est surmontée d'un bras placé sur crémaillère et muni en son extrémité, pour la préhension, d'un électro-aimant (Cf. annexe 1 mouvement de translation et préhension). Les procédures écrites par les stagiaires pour la gestion de ces actions figurent en annexe 3: pour l'électro-aimant [PRENDS] [LACHE], pour la translation [HAUT] [BAS] et pour la rotation [DROITE] [GAUCHE]. Ce micro-robot comporte en outre:

- un socle d'approvisionnement des pièces à manipuler, intégrant une photo-résistance,
- un arrêt d'urgence,
- un programme de diagnostic des différents capteurs de fin de course.

Des fiches techniques (Cf. Annexe 2) sont distribuées aux stagiaires pour les besoins d'acquisition de savoir-faire spécifique, comme par exemple la connexion de l'interface au micro-ordinateur, le pilotage d'un moteur (Annexe 2 - mise en oeuvre d'un moteur), l'utilisation d'un capteur (Annexe 2 - mise en oeuvre d'un capteur d'acquisition analogique) ou d'un interrupteur de fin de course (Annexe 2 - mise en oeuvre d'un capteur de fin de course), la réalisation d'une translation, d'une rotation, le détail de certaines primitives et de la syntaxe LOGO, etc...

4.5 Objectifs

- Etre capable, en équipe, d'écrire un programme qui fait effectuer au robot un mouvement de démonstration. (Celui détaillé en annexe 3 par la procédure [CYCLE1]).
- Etre capable de faire répéter ce mouvement tant qu'il y a des pièces à traiter.
- Modifier le contrôle de la rotation de la base par suppression d'interrupteur et introduction d'un compteur pas à pas.

5. Articulation entre la situation professionnelle et la situation de formation.

Le premier axe de réflexion concerne le transfert des savoirs et compétences acquises en formation. Seules certaines convictions et surtout des espoirs vite déçus permettent à priori de considérer que les stagiaires effectuent spontanément ce transfert. Aucun résultat scientifique n'en atteste par contre. Les recherches qui prennent en compte cet aspect montrent notamment que le transfert est un processus et qu'il s'accompagne. Une réelle pédagogie d'accompagnement des transferts a donc été mise en oeuvre.

Présentés en décembre à la maîtrise de l'entreprise, ces micro-robots pédagogiques ont été de prime abord considérés comme tirés de la hotte du Père Noël. Le propre d'un robot est d'être adapté à la fonction pour laquelle il est construit; s'agissant d'une fonction pédagogique facilitant des apprentissages, elle entraîne des contraintes spécifiques et des limites dans la comparaison avec les robots industriels. Par ailleurs, la présence de représentants du Ministère de la Recherche et des Technologies lors des présentations, a permis, par son effet de sérieux apparent que la maîtrise de l'entreprise accepte de surmonter ses réticences pour envisager en équipe, avec les formateurs, des situations pédagogiques articulées autour de ces outils.

Un exemple simple et précis est fourni par le diagnostic de panne des capteurs de fin de course. En cas de dysfonctionnement, sur les

micro-robots, il est évidemment plus rapide de tester ces capteurs avec le doigt. En poste cette habitude éventuellement contractée deviendrait rapidement dangereuse. Le responsable de la sécurité de l'entreprise l'a immédiatement pointé. Pour que les hiérarchiques ne soient pas amenés à être en opposition aux savoirs et habitudes contractées en formation, un dispositif piloté à l'écran, de diagnostic des différents capteurs a dû être mis en oeuvre. Il permet alors d'interdire toutes manipulations directes. Présenté aux stagiaires comme tel, il implique de fait leur vie d'entreprise dans le dispositif de formation.

Les jolis jouets de Noël acquièrent alors toute leurs dimensions symboliques d'outils de formation. De ce fait, l'expérience professionnelle conditionne aussi l'exploitation de la formation.

Les opérateurs ont utilisé pendant 15 à 20 ans des machines sans contrôle vidéo. En formation sur les micro-robots, pragmatique, l'ouvrier commence par regarder si le capteur est enfoncé pour aller en suite vérifier que cette information est correctement représentée à l'écran. Ce n'est qu'à la suite d'une nouvelle expérience structurée par la construction de micro-robots, acceptant d'occulter des capteurs, qu'ils acquerront la confiance nécessaire au diagnostic depuis les consoles.

Intégrant cette dynamique, durant les séances de formation, les stagiaires ont d'eux même établis, ou fait établir certains parallèles, certains rapprochements entre les outils de micro-robotique et la situation professionnelle prise comme référence.

Le premier mouvement n'était répété qu'un certain nombre de fois par l'utilisation de la primitive REPETE (Cf. annexe 3 - procédure [ROBOT]). Un groupe de stagiaires a alors relevé qu'à l'usine les robots ne s'arrêtaient pas ainsi. Ils ont ensuite demandé s'il était possible "d'en faire autant". La procédure [ROBOT] a alors évolué vers la procédure [DIEU] comportant un appel récursif préalablement conditionné à la détection de pièces obtenue grâce à la valeur rendue par une photo-résistance intégrée à la borne de chargement inclus dans la procédure [CYCLE 2]. Parce que les pièces à manipuler ne sont pas assez lourdes pour maintenir un capteur

enfoncé, la borne de changement comprend une cellule photo-sensible pour détecter leur présence.

De même, au tout début des séances de formation, les premières procédures de gestion de mouvement à la sortie des moteurs (Cf. annexe 3 - [HAUT] [BAS] [DROITE] [GAUCHE]), ne comprenaient initialement aucun test. Alors, quelle que soit la position du robot, les ordres étaient exécutés au moins une fois. Par leur expérience, certains stagiaires ont rapidement associé à ce phénomène des incohérences dans le pilotage. Dès qu'ils ont maîtrisé les structures conditionnelles en LOGO, ils ont souhaité modifier cette exécution en introduisant un contrôle supplémentaire par la scrutation préalable de l'état du capteur.

Ces deux exemples de maîtrise des processus induits par l'expérience professionnelle s'articulent toutefois sur des connaissances très différentes. En effet, dans un cas, celui de l'interrupteur, deux états peuvent seulement être considérés, dans le second, celui de la photo résistance, c'est toute l'échelle des valeurs comprises entre 0 et 1023 qui doit être prise en compte. C'est alors l'occasion d'une réflexion mathématique considérable et nécessaire à la maîtrise de ces processus. Il convient de l'analyser puisque la plus grande partie des objectifs qui permettent d'insérer cette formation de micro-robotique pédagogique dans le cadre d'une formation générale sont ici détaillés par l'exemple.

6. Articulation entre la formation générale utilisant des micro-robots pédagogiques et la situation professionnelle.

Dans les deux cas, capteur ou cellule, le sens de rotation des moteurs est obtenu par référence à un sens positif ou négatif. Cette notion mathématique est différente d'un simple symbolisme, toutefois il en permet et facilite l'abord. Dans les deux cas également, la notion d'itération et de valeur rendue permettent d'aborder le concept de variable. Comme l'a notamment montré R. Samurçay, le statut de la variable mathématique est sensiblement différent de celui de la variable informatique. Néanmoins ces concepts peuvent être en partie articulés.

Par contre la comparaison de ces deux contrôles utilisant tantôt un capteur, tantôt une photo-résistance, conduit à la prise en compte de la rupture qui existe entre un système discret et un système continu de mesure. Utilisant la solution technique d'un capteur, système binaire discret, les stagiaires peuvent associer de strictes relations d'égalité (Cf. annexe 3 - procédure [HAUT] [BAS] [DROITE] [GAUCHE]

SI EGAL? ETAT "E X 1 [STOP]

Utilisant une photo-résistance, système continu par intervalles, ils doivent d'une part étalonner leurs mesures entre 0 et 1023, et d'autre part y associer des comparaisons plus grand que, plus petit que (Cf. annexe 3 - procédure [CYCLE] SI EY? < 1 000 [STOP]). En mathématique, G. Vergnaud (1981) souligne qu' "On peut distinguer deux domaines d'application des relations d'équivalence, selon que la dimension à laquelle on s'intéresse forme un ensemble discret ou ensemble continu de valeurs; et on peut distinguer pareillement deux domaines d'application des relations d'ordre". (L'enfant, la mathématique et la réalité, p. 84). Enfin, la borne 1024, peut être expliquée par référence au codage de l'information n'acceptant pas de valeurs supérieures à 2^{11}.

Toutes ces connaissances mathématiques seront ultérieurement exploitées et détaillées. Mais soulignées et pointées lors de l'utilisation des micro-robots, eux mêmes assujettis à la situation professionnelle, elles deviennent alors plus facilement exploitables en poste. Les stagiaires n'envisagent d'ailleurs même plus l'alternative de se passer de cette formation générale, par contre, comme l'ont montré les entretiens, leurs collègues n'ayant pas utilisé de micro-robots s'en seraient volontiers abstenu.

L'accompagnement des transferts restant une préoccupation majeure, la gamme d'outils proposés est alors exploitée en ce sens. Par leur ergonomie et leur diverses complexités technologiques, ils permettent de structurer des progressions. Aux manipulateurs créés à partir des éléments Fischertechnick, correspond par exemple le bras Youpi qui permet d'accompagner en formation certains transferts. À la cellule AFX Fischer

coordonnant plusieurs robots Fischertechnick, répond le SP7 permettant exactement ce même accompagnement durant les sessions. Cette habitude contractée, est encore un gage de réussite.

7. Conclusion

Une seule action expérimentale de formation est présentée. Cette logique qui propose de coordonner l'action de plusieurs robots, conduit à envisager une ultime action expérimentale articulant toutes les précédentes.

Cette étude, relativement unique en son genre, associe sur un même domaine de la formation et de la reconversion aux nouvelles technologies différents partenaires juridiquement différents et possédant des compétences indispensables et complémentaires pour la réussite de l'opération. C'est un exemple de cette synergie entreprise, organisme de formation professionnelle, université, qui prouve que ce partenariat est indispensable à la validation des outils de micro-robotique pédagogiques et des contextes de formation.

8. Remerciements

Nous tenons à associer à cette recherche par nos remerciements le Ministère de la Recherche et des Technologies, les salariés des entreprises Glaenzer-Spicer et SCITEC ainsi que ceux de L'Association pour la Formation Professionnelle du Mans.

9. Bibliographie

BAUDRY, M. (1989). SPF: un environnement d'apprentissage des concepts liés à la flexibilité dans la production. **Actes du Premier congrès francophone de robotique pédagogique**. Le Mans. 30/8-1/9.

BOURDIEU, P. et PASSERON, J.C. **La reproduction, éléments pour une théorie du système d'éducation**. Les éditions de minuit. Paris.

BRUNEAU, J. (1989). Remarques autour d'une activité de robotique en classe de 6ème. **Actes du Premier congrès francophone de robotique pédagogique**. Le Mans. 30/8-1/9.

BRUNEAU, J. et PARMENTIER, C. (1990). Vers un atelier de construction de micro-robots pour la conception et la réalisation de machines automatiques en classe de 6e. A paraître dans **Option Informatique**.

PAPERT, S. (1981). **Jaillissement de l'esprit**. Flammarion.

PARMENTIER, C. (1988). LOGO et périmètre au CM1, un jeu de transferts et de théorèmes en actes. **Actes du deuxième colloque d'ergonomie scolaire**. Toulouse. pp. 229-234.

PARMENTIER, C. (1990). **Introduction de l'informatique à l'école - étude d'un transfert entre Logo et géométrie - Cours moyen 1**. Thèse de doctorat, Université Paris 5. 2 volumes, 307 pages.

PARMENTIER, C., VIVET, M. et BRUNEAU, J. (1990b). Robotique objet/outil pour la reconversion d'Ouvriers Spécialisés. **Actes du colloque APPLICA**. LILLE, septembre, volume 2.

PARMENTIER, C., VIVET, M. et BRUNEAU, J. (1990c). Logo et la reconversion d'Ouvriers. **Actes du colloque LOGO et apprentissages**. Fribourg 10.

PARMENTIER, C., VIVET, M. et BRUNEAU, J. (1990d). **Micro-robots: Objects or Tools for Factory Training**. A paraître.

SAMURCAY, R. (1984). Signification et fonctionnement du concept variable informatique chez l'élève débutant. **Educational studies in Mathematics**, numéro16, pp. 143-161.

SCHOEFS, Y. (1989). Exploitation pédagogique du SPF: premier bilan d'une expérimentation. **Actes du Premier congrès francophone de robotique pédagogique**. Le Mans. 30/8-1/9.

VERGNAUD, G. (1981). **L'enfant, la mathématique et la réalité**. P. Lang.

VERGNAUD, G. (1985). Concepts et schèmes dans une théorie opératoire de la représentation. **Psychologie Française**, numéro 30-3/4, pp. 245-252.

VIVET, M. (1981). Apprentissage autonome, sur un usage de la technologie informatique dans l'éducation. **Annexe du rapport SIMON, "l'éducation et l'informatisation de la Société"**. La documentation française. pp. 201-210.

VIVET, M. (1982). LOGO: un environnement informatique pour la formation d'adultes. **Actes du Colloque National LOGO**. Clermont-Ferrand - décembre.

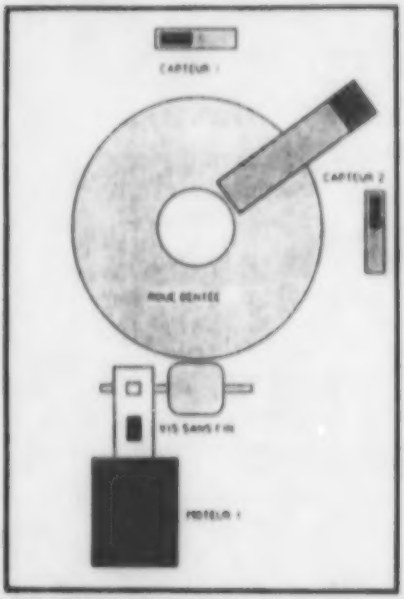
VIVET, M. (1983). LOGO: un outil pour une formation de base à la robotique. **Colloque National "LOGO et les enseignements technologiques"**. Le Mans - novembre, compte-rendu Revue ETI-LISH/CNRS, numéro 3, pp. 5-19.

VIVET, M. (1986). Pilotage de Micro-robots sous LOGO, un outil pour sensibiliser les personnels de l'industrie à la robotique". **A l'école des robots, robothèque du CESTA**. pp. 195-210.

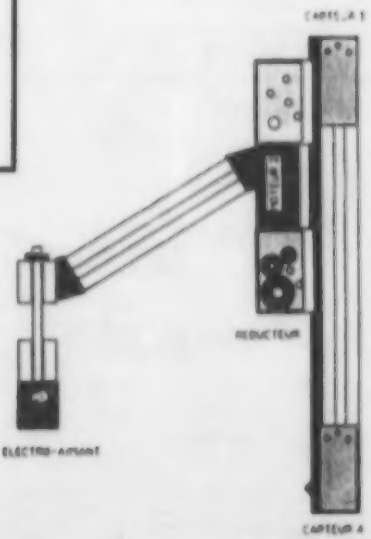
VIVET, M. (1989). Robotique pédagogique soit, mais pour enseigner quoi? **Actes du Premier congrès francophone de robotique pédagogique**. Le Mans. 30/8-1/9.

VIVET, M., BRUNEAU, J. et PARMENTIER, C. (1990). **Learning with Micro-Robotics Activities**. NATO Advanced Research Workshop. Eindhoven, october 9-12.

ANNEXE 1

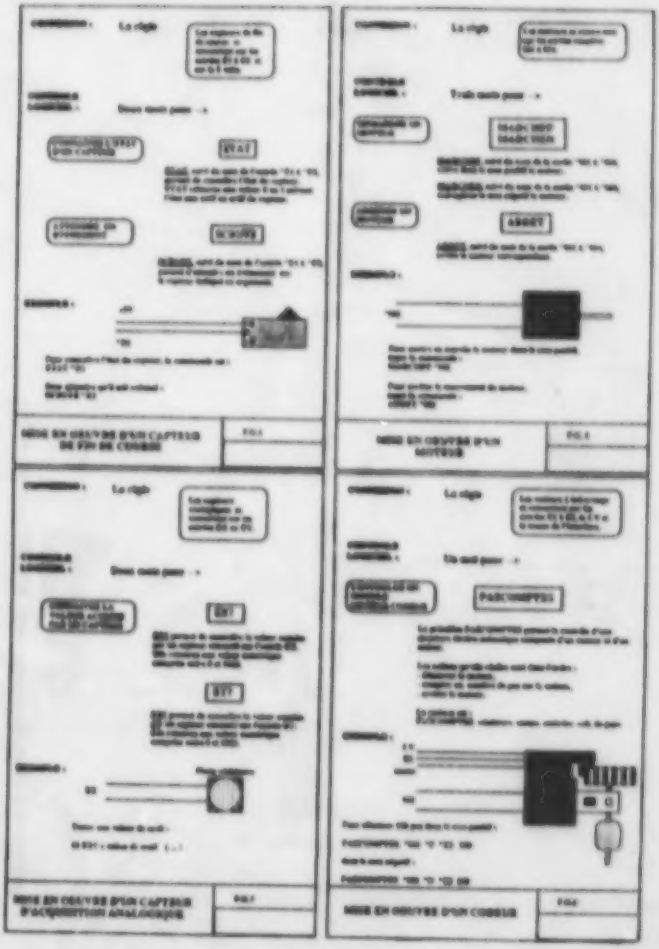


MOUVEMENT DE ROTATION (vue de dessus)



MOUVEMENT DE TRANSLATION ET PREHENSION

ANNEXE 2



ANNEXE 3

LISTE DE QUELQUES PROCÉDURES CRÉÉES PAR LES STAGIAIRES À PARTIR DES PRIMITIVES LOGO ENRICHIES AU LABORATOIRE D'INFORMATIQUE DE L'UNIVERSITÉ DU MAINE DES PRIMITIVES TECHNIQUES [MARCHEP] [MARCHEN] [SCRUTE] [ARRET]... (Cf. Annexe 2).

```
POUR PRENDS
MARCHEP "M3
FIN

POUR HAUT
SI EGAL? ETAT "E1 1 [STOP]
MARCHEN "M1
SCRUTE "E1
ARRET "M1
FIN

POUR GAUCHE
SI EGAL? ETAT "E3 1 [STOP]
MARCHEN "M2
SCRUTE "E3
ARRET "M2
FIN

POUR CYCLE1
BAS
RECYCLE
PRENDS
HAUT
DROITE
BAS
LACHE
HAUT
GAUCHE
FIN

POUR ROBOT
REPETE 3 [CYCLE]
FIN

POUR LACHE
ARRET "M3
FIN

POUR BAS
SI EGAL? ETAT "E2 1 [STOP]
MARCHEP "M1
SCRUTE "E2
ARRET "M1
FIN

POUR DROITE
SI EGAL? ETAT "E4 1 [STOP]
MARCHEP "M2
SCRUTE "E4
ARRET "M2
FIN

POUR CYCLE2
SI EY? < 1000 [STOP]
BAS RECYCLE
PRENDS
HAUT
DROITE
BAS
LACHE
HAUT
GAUCHE
FIN

POUR DIEU
CYCLE2
DIEU
FIN
```

MOTEURS! ACTEURS!

Marie-France LE ROCH
Gérard NOWAK
Université Pierre et Marie Curie
Institut Blaise Pascal

Résumé

Dans le cadre d'un enseignement de 3ième cycle, pour des ingénieurs, non informaticiens d'origine, nous avons développé une application entièrement écrite en ADA, pour la commande et la coordination de robots pédagogiques pilotés, chacun par un ordinateur de type PC. Les robots coopèrent à la réalisation d'un assemblage (inspiré d'un "casse-tête") de neuf cubes. Les deux ordinateurs IBM/AT3 travaillent en parallèle et échangent informations de synchronisation et données à travers une liaison série asynchrone. Le produit avec une approche de la programmation par classes d'objets met en oeuvre tous les outils intéressants de ADA (paquetages, éventuellement génériques, tâches, bibliothèques). Pas une ligne en langage d'assemblage n'a dû être écrite.

En amont, nous explorons la connection de ce travail avec un outil de spécifications d'applications par Réseaux de Pétri qui produit également du code ADA. En aval, nous poursuivons le développement d'une carte, à base de transputer, accueillant un système LISP pour l'équipement des robots, alors véritables acteurs, matériels et logiciels, communicants, au sein d'un réseau dédié à l'apprentissage de la communication et de la coordination.

Mots clés: Apprentissage, Communication, Coordination, Synchronisation de tâches en ADA, Acteurs en LISP, Réseaux de Pétri, Transputer.

Abstract

In the context of a third course for engineers, low initiate with computing, we worked out an ADA application to control and coordinate two little pedagogical robots, each drived by a personal computer. Robots cooperate to a problem (prompted by brain racking) of associating nine cubes. The computers work in parallel ways and exchange data and synchronization informations through a serial asynchronous line. This application, with an approach of classes of objects structuring and programming implement all interesting tools inside ADA (packages, generic ones possibly, tasks, libraries). We didn't write any assembly language line of code.

Up-stream we explore how to connect this work with a tool which offer to specify applications with Petri Nets and generate ADA code. Below, we study and realize a board, equiped with an Inmos transputer, as to receive a LISP system for our robots, then, becoming real hardware and software actors, in the bosom of a net, dedicated to apprenticeship of communication and coordination.

1. Présentation générale

Deux des axes de recherche des laboratoires MASI et LITP de l'Université Pierre et Marie Curie concernent des domaines a priori éloignés:

- nous avons présenté aux Journées Francophones sur les Langages Applicatifs de La Rochelle (24) le travail relatif au développement du système Méta-Vlisp (21, 22) sur transputer (32), destiné à équiper des robots pédagogiques (11) pour leur grande autonomie locale; les robots peuvent alors être considérés comme des *acteurs* (16 à 19, 24) communiquant par envois de messages,
- l'équipe "Atelier Réseaux de Pétri" (13, 14) développe un ensemble d'outils permettant, à partir de la description d'une application à potentiel de parallélisme sous forme de *réseau de Pétri*, de vérifier la correction de l'application et de *générer automatiquement* le code de cette application dans un des langages cibles Occam et Ada.

Nous nous proposons de "connecter" ces deux aspects de recherche, car il nous semble intéressant de disposer d'un outil qui, à partir d'un réseau de Pétri décrivant une application et de quelques procédures strictement attachées à cette application, permette la mise en oeuvre directe et en grandeur réelle de cette application commandant des robots.

Au cours de ce travail, nous avons été amenés à spécifier et réaliser en Ada (1, 2, 3, 7) différentes couches de logiciel, qui nous paraissent destinées à devenir *des outils pédagogiques pour l'apprentissage, de la commande des robots*, d'une part, *des mécanismes liés au parallélisme*, d'autre part.

- Un ensemble de primitives correspond à la gestion fine du matériel (commandes des moteurs, lecture des capteurs, ...) et définit *un micro-monde d'apprentissage*, à partir d'actions simples effectuées par les robots;
- un ensemble de primitives utilisant les précédentes permet d'effectuer *tests et réglages* sur les composants matériels, et permet de mettre en évidence des décompositions de mouvements;
- un ensemble de primitives, construit au-dessus des deux ensembles précédents, caractérise le *monde* dans lequel évolue le robot;
- les *échanges* (communication de données, synchronisation) entre les composants matériels caractérisent le schéma de contrôle de l'application.

Nous avons travaillé avec des robots réels plutôt qu'en utilisant des outils de simulation: en effet, nous disposons du matériel nécessaire, mais surtout nous pensons que la commande de robots réels pose des problèmes en partie masqués par la simulation, et a donc une incidence non négligeable sur le développement de l'application envisagée. C'est ainsi que nous avons dû rapidement nous préoccuper des problèmes de tests et de réglage de nos robots, et que les primitives associées se sont montrées aussi indispensables que celles des commandes de base.

Nous sommes bien conscients qu'il existe un décalage entre le matériel pédagogique que nous utilisons et les outils du monde industriel. Mais un produit tel que celui sur lequel nous travaillons peut être considéré comme un intermédiaire entre le monde de l'industrie et celui de l'enseignement; en particulier, il nous semble parfaitement adapté à la formation tant initiale que continue des personnels, en ce qui concerne l'apprentissage des notions liées au parallélisme (synchronisation, communication, exclusion), la compréhension des mouvements possibles, ou encore la commande fine des matériels.

2. Réalisation

2.1 Choix effectués

Le produit pédagogique présenté ici concerne la commande de petits *robots bras pédagogique "Youpi"* de J.D. Productique. Nous avons travaillé sur ce matériel car, choisi par l'Éducation Nationale en France pour l'apprentissage des notions de base de la robotique dans les collèges et lycées techniques, il est présent dans nombre de centres d'enseignement concernés par ce domaine. Relativement simple, il permet néanmoins de mettre en oeuvre une géométrie de robots:

- commandes de mouvement de chaque moteur sur chacun des axes (tronc, épaule, coude, poignet, main, doigts),
- composition de mouvements sur plusieurs moteurs,
- calculs de déplacements par utilisation classique de matrices,
- bras et avant-bras ayant la même longueur, le calcul matriciel peut être ignoré dans un premier temps, les déplacements étant évalués à partir de relations trigonométriques simples dans un triangle isocèle.

Le produit complet est écrit dans le *langage Ada*. Ce langage offre des outils puissants et souples de structuration (les *paquetages*), permet de créer des objets à partir de modèles (les *génériques*), et surtout offre la possibilité d'exprimer le parallélisme potentiel d'une application en décomposant cette application en *tâches* coopérantes ou concurrentes capables d'échanger des informations de contrôle (synchronisation) et/ou de données (communication). Nous avons délibérément choisi ce langage,

bien que conscients du fait qu'Ada n'est pas encore largement implanté dans les établissements de formation, pour les raisons suivantes (autres que techniques):

- Ada est un langage doté d'une grammaire normalisée,
- les progrès des matériels et des logiciels, permettent dès à présente de disposer de compilateurs sur ordinateurs de type PC,
- les efforts des distributeurs envers l'Éducation Nationale mettent à disposition des produits abordables: nous avons développé notre application à l'aide du compilateur Adavantage de Méridian, distribué par Euratec,
- il s'agit souvent aussi de former de futurs informaticiens et l'influence du premier langage acquis est maintes fois déterminante sur la façon même d'analyser, de décomposer, de spécifier un problème ultérieurement,
- le choix de ce langage par des administrations comme le DOD, des entreprises comme SONY, IBM, etc., pour certaines réalisations, augure bien du développement de l'utilisation de ce langage dans la décennie à venir: nous avons d'ailleurs fait ce *pari* et utilisons Ada dans notre formation de DESS Double Compétence; l'expérience d'une année est positive tant pour l'accueil du langage que pour les qualités du produit. Certains stagiaires retrouvent Ada pour leurs développements en entreprise cet été.

D'autre part, les bibliothèques disponibles en Ada sont riches, et en particulier nous n'avons pas écrit une seule ligne en langage d'assemblage, y compris pour la commande fine des moteurs. Par essence ces bibliothèques ne *demandent* qu'à s'accroître et cela dans un contexte cohérent.

Il resterait malgré tout à effectuer une étude critique, une expertise avec des produits comparables comme C++ par exemple, ou des systèmes-langages à objets, plus interactifs comme Smalltalk 80 par exemple, sur la base de quelques applications non triviales.

2.2 Le produit développé

Nous disposons de deux robots de même type, pouvant être indifféremment installés sur deux machines différentes ou sur la même machine; un robot se différencie d'un autre essentiellement par quelques caractéristiques de réglage, et par l'adresse du port d'entrées/sorties correspondant à l'emplacement choisi pour installer la carte d'interface associée. Par contre, les opérations disponibles sont les mêmes sur les différents robots: le regroupement des primitives décrivant les mouvements possibles d'un robot réalisé à l'aide d'un *paquetage générique* "ROBOT"; toute utilisation de robots contiendra autant d'instanciations de ce paquetage qu'il y aura de robots en oeuvre dans l'application concernée. Ce paquetage est lui-même réalisé en deux niveaux, liés au fonctionnement du robot: en effet, les mouvements demandés au robot sont plus facilement appréhendables s'ils sont exprimés sous forme de déplacements en *millimètres* (pince) ou de pivotements en *radians* (main par exemple); or la commande "fine" des moteurs est effectuée en *pas*, nous avons donc mis à disposition dans le langage générique "ROBOT" un ensemble de primitives caractérisant les déplacements en millimètres et en radians, et écrit, de façon strictement interne à ce paquetage spécifique "DÉPLACEMENT_EN_PAS" offrant l'ensemble des primitives de bas niveau pour la commande des moteurs.

La réalisation d'un mouvement de niveau *radians* à l'aide d'un mouvement de niveau *pas* est possible grâce à la connaissance des résolutions par axe. Mais un robot donné nécessite une phase d'étalonnage pour affiner les paramètres correspondants. C'est la raison principale pour laquelle nous avons développé un paquetage "TESTS", regroupant les primitives de tests de chaque moteur, des capteurs,... Un intérêt supplémentaire de ce paquetage est d'offrir une série de primitives de bas niveau permettant de démontrer le fonctionnement de chaque moteur. Dans le produit développé, les robots se meuvent dans un monde de cubes numérotés, organisés en zone "source" et en zone "destination", et doivent transporter ces cubes. Les zones source et destination peuvent être référencées en deux dimensions (coordonnées au sol) ou en trois dimensions (coordonnées d'un mur), selon l'application envisagée. Les

actions possibles des robots dans ce monde se limitent à PRENDRE et POSER des cubes caractérisés par leur numéro ou par les coordonnées de leur emplacement. L'ensemble de ces opérations caractérise la manipulation des cubes, et, décrivant le monde du déplacement d'un robot donné est réalisé sous la forme d'un paquetage "MANUTENTION_CUBE", qui contient l'instanciation du paquetage générique "ROBOT" correspondant au robot considéré: "MANUTENTION_CUBE" est attaché à un robot donné, le paquetage est donc lui-même générique.

Disposant de ces différentes outils, l'écriture de l'application est restreinte à la description des tâches mises en oeuvre pour commander chaque robot, et à la description des communications d'informations et/ou de la synchronisation entre ces tâches. Chaque tâche exprimera donc, après instanciation du paquetage générique "MANUTENTION_CUBE" qui aboutit à l'instanciation du robot dont elle assure le contrôle, et par invocation des primitives mises à disposition pour les niveaux précédents, les mouvements du robot concerné nécessaires à la réalisation de l'application.

À partir des couches de bas niveau développées (ROBOT, TESTS et MANUTENTION_CUBE), nous avons mis au point plusieurs applications et en particulier réalisé la reconstitution d'une image-puzzle formée à partir d'un ensemble de neuf cubes placés en zone source, dans une zone destination, et ceci dans les différents contextes suivants:

- un seul robot prend un par un les cubes sur un mur "source" de 3 cubes de base et 3 cubes de haut, et les dispose au sol en un carré de 3 * 3;
- un robot prend un par un les cubes d'une zone source horizontale de 3 * 3 et les transmet, en les posant en un point de rendez-vous pré-

déterminé, à un deuxième robot qui pose les cubes transmis en zone horizontale de 3 * 3; les deux robots sont installés sur le même ordinateur, les synchronisations nécessaires sont bien mises en évidence, mais il n'y a pas d'illustration de parallélisme réel;

- la même application que la précédente est réalisé avec les deux robots installés chacun sur un ordinateur, les deux ordinateurs étant connectés entre eux par une liaison de mode série. Les tâches de gestion de chaque robot de l'application sur chaque machine sont inchangées. La synchronisation et les communications entre les tâches sont assurées par une tâche de gestion de la voie sur chaque machine, faisant appel aux bibliothèques permettant l'utilisation des services du DOS, notamment ceux de type INT 14H. Ces tâches possèdent les mêmes relations avec les tâches de gestion de robots que, dans la version précédente, les tâches *robot*.

Cette réalisation a le double mérite d'illustrer de façon concrète une véritable application parallèle, avec les problèmes classiques de synchronisation (pour la transmission des cubes) et d'exclusion mutuelle (il existe une zone dans laquelle les deux robots ne peuvent se trouver simultanément, sous peine de risquer une collision).

3. Intérêts pédagogiques

La réalisation par couches du produit, sous la forme de paquetages regroupant les primitives d'un niveau donné, met à disposition une sorte *d'atelier logiciel* permettant d'étudier et/ou utiliser une ou plusieurs de ces couches. Ainsi, une formation de base en robotique peut utiliser les paquetages "ROBOT" et "TESTS" pour l'apprentissage de la maîtrise des déplacements de base d'un robot, par émission simple des primitives associées. Après observation du fonctionnement d'un tel robot, et pour en faire manipuler les commandes "fines", il est possible de travailler à remplacer le corps des primitives de base pour tenir compte de la vitesse maximum que peut atteindre chaque moteur: il est facile de comparer les performances obtenues pour une application donnée, ou une manutention donnée, dans les divers cas. Indépendamment des couches basses, l'utilisation des seules primitives de "MANUTENTION_CUBE" permet

de faire appréhender un environnement, sans s'intéresser aux commandes de base du robot; le monde dans lequel évolue le robot peut d'ailleurs aisément être redéfini, en fonction des caractéristiques des applications envisagées, sans modifier en quoi que ce soit les couches basses. Enfin, ainsi que nous l'avons fait pour tester notre produit, plusieurs applications mettant en jeu le même environnement peuvent être analysées et écrites, tout le soin étant focalisé sur l'application puisque la gestion des composants physiques est disponible.

Un autre intérêt de ce produit réside dans le fait que, grâce à la modularité offerte par le langage, un tel atelier peut être complété de façon simple avec des paquetages assurant la gestion de bas niveau de matériels différents. Nous envisageons d'ailleurs de compléter le produit avec un tapis roulant: il suffira de développer le paquetage "TAPIS_ROULANT" et le paquetage "TEST_TAPIS" associé, dont les constructions seront analogues à celles des paquetages "ROBOT" et "TESTS". Le produit obtenu sera alors utilisable pour construire des maquettes d'*ateliers flexibles*, permettant aux personnes en formation de manipuler et de commander par programme du matériel réel.

Nous avons souligné dès le début de ce texte l'intérêt que présente l'utilisation de composants réels. Nous ne négligeons pas pour autant l'apport des outils de simulation, mais nous pensons que, selon le niveau de connaissances et la capacité d'abstraction des personnes enseignées, des croquis peuvent ne pas suffire, alors que des expériences concrètes menées sur du matériel réel même en "modèle réduit" offriront plus de qualités formatrices.

L'esprit humain actuel est à l'aise dans le raisonnement séquentiel, qu'il manipule depuis le plus jeune âge. Par contre, *l'apprentissage des notions liées au parallélisme* est loin d'être simple, alors que le parallélisme est appelé à devenir une structure de contrôle aussi courante que l'itération ou la sélection. Le produit que nous présentons ici permet, tel quel, d'illustrer concrètement une application parallèle: les robots connectés sur les deux machines oeuvrent véritablement en même temps, se synchronisent pour dépôt et prise de cube, et leurs mouvements

sont mutuellement exclusifs dans la zone où une collision peut se produire. Ceci peut faciliter l'appréhension des mécanismes fondamentaux liés au parallélisme. La compréhension parfaite des mécanismes passe par leur manipulation. Dès à présent, à partir des tâches Ada (éventuellement présentées simplifiées), et en utilisant les primitives de "MANUTENTION_CUBE", l'apprenant peut écrire une application parallèle, en ne s'intéressant qu'au schéma de contrôle de cette application: l'attention se porte exclusivement sur la détermination des processus parallèles composant l'application et sur les communications entre ces processus. L'application ainsi écrite est directement mise en oeuvre sur les composants physiques, le mécanisme d'apprentissage par essais/erreurs peut être employé ici. Nous souhaitons parfaire cela en évitant l'écriture en Ada de ces relations entre processus, qui suppose une connaissance correcte des notions de tâche en Ada. En effet, à partir du moment où les schémas de contrôle associés au parallélisme seront connus, le dessin de l'application sous forme de réseau de Pétri remplacera l'écriture en Ada, et l'ossature de l'application, en ce qui concerne le parallélisme, sera générée automatiquement (13, 14): les robots seront commandés à partir du schéma de l'application!

Nous avons expérimenté une partie de tout cela en DESS Double Compétence: "Ingénierie des Systèmes Informatiques". Nous avons en effet soumis à nos étudiants l'analyse des différentes couches, et les divers groupes ont concentré leur effort sur la mise en place de l'un ou l'autre des paquetages présentés. Le bilan de cette expérience nous a conduits à présenter ce produit aujourd'hui.

4. Perspectives

Nous souhaitons aller plus loin en ce qui concerne le parallélisme, en mettant en oeuvre la possibilité qu'ont les moteurs de travailler eux-mêmes en parallèle. Nous avons tenté d'associer à chaque moteur une tâche Ada, mais le mécanisme de commutation de tâches du compilateur dont nous disposons est trop lourd (les moteurs d'un robot sont commandés par l'intermédiaire d'un port parallèle et d'une carte électronique, donc les tâches correspondantes ne s'exécutent qu'en quasi-

parallélisme sur le processeur Intel 80286): le robot effectue ses mouvements au ralenti! Nous pensons que d'autres compilateurs, en particulier destinés à la production pour processeurs adaptés au parallélisme, n'auront pas cet inconvénient (compilateur Ada développé par Alsys pour le transputer de Inmos). Dans le cadre de notre recherche et de l'implantation de LISP sur Transputer, nous envisageons d'en faire l'essai.

Nous avons pu cependant remarquer que la commande d'un robot en Ada est à peu près aussi efficace qu'en langage d'assemblage: nous avons en particulier comparé les temps de mise en position de référence des robots, par émission (simultanée) de la commande écrite (en langage d'assemblage) par le constructeur, et de la commande "ref" de notre paquetage "TESTS"; les deux robots, pour des positions initiales similaires, se sont retrouvés en position de référence pratiquement en même temps, ce qui nous conforte dans notre démarche du "tout Ada" en ce qui concerne les travaux de programmation.

Notre projet, plus largement, consiste à développer un outil pour l'apprentissage des notions de communication, de coordination, de synchronisation avec l'aide:

- en amont, des réseaux de Pétri, par l'intégration des couches développées en fin de la chaîne de production automatique de code, en cours de réalisation, dans l'équipe "Atelier Réseau de Pétri" et,
- en aval, d'un réseau de robots pédagogiques nomades ou sédentaires, véritables acteurs communicants, équipés d'un interprète LISP (21, 23, 19).

Paradoxalement, nous avons présenté l'utilisation de ADA pour la commande et la synchronisation de robots mais nous explorons les voies:

- de portage de notre système LISP en ADA, pour transputer,
- d'intégration de l'interprète LISP dans l'environnement ADA.

LISP alias ADA

Nous restons attaché à LISP (20, 25 à 31), et particulièrement à Méta-Vlisp, (ce choix est *intemporel*: LISP est né en 1960), pour ses

nombreuses qualités:

- interactivité,
- système ouvert,
- connaissance par essence du concept d'arbre, et des opérations de modélisation, d'application et de composition de fonctions,
- sa syntaxe est simple (mode parenthésé, préfixé) mais puissante (récursive),
- le langage est interprété, il accepte production et (re)définition dynamique de fonctions (souplesse lexicale pour ce qui est prédéfini),
- programmes et données ont le même statut d'expressions symboliques,
- l'évaluateur est très efficace, il optimise par transformation des mécanismes récursifs en "exécution itérative".

LISP est aussi vu comme "langage d'assemblage" pour toutes les familles de développements suivantes (y compris pour son propre développement):

- les langages "orientés à objets",
  ("le plus petit SMALLTALK du monde": 3 pages de LISP, celui-ci possédant les ingrédients)
- I.A., systèmes "experts" et E.I.A.O.
  (beaucoup de ces applications sont écrites en LISP, dont une fonction PROLOG en Vlisp par exemple)
- les acteurs communiquant par messages,

tout en offrant pour des comparaisons de stratégies ou des synthèses, une homogénéité des représentations de concepts, une rapidité de création de modèles, de maquettes, une compacité d'écriture.

Nous lui adressons cependant des critiques (et particulièrement à Méta-Vlisp).

Autant l'évaluateur est efficace, autant l'interpréteur l'est moins (ses lecteur et imprimeur sont évalués!).

Son système de portage est actuellement surtout adapté pour l'usage de macro-assembleurs, ce qui nécessite un travail plus fin qu'un portage en C, en PASCAL, ou en ADA. Lors de nouveaux portages, pour de

nouveaux processeurs, nous sommes nous-mêmes *victimes* des produits industriels trop jeunes et malgré tout, vite périmés, comme les compilateurs et systèmes de développement achetés (c'est du moins le cas pour les transputers avec TDS, OCCAM, TOOLSET, C-3L).

Dans les contextes que nous connaissons, un produit de laboratoire universitaire aura difficilement, tel quel, les qualités pour une diffusion commerciale. Son évolution sera souvent liée à la durée de vie de l'équipe conceptrice.

La gestion de périphériques est a priori incompatible avec la programmation applicative mais ceux-ci se modélisent grâce aux automates qui dérivent de la théorie plus systématique des graphes.

Les critiques sur LISP et ses portages, et une première expérience avec ADA, nous ont amené à développer certaines idées d'intégration de ces deux systèmes.

Une première étape va consister à porter Méta-Vlisp en ADA (des portages en OCCAM et en C sont déjà écrits pour transputer mais n'ont pas abouti pour des raisons indépendantes de notre volonté...).

La machine intermédiaire pour les portages de LISP bénéficierait d'une structuration en termes de paquetages, avec par couche, les logiciels de tests associés.

Les bibliothèques de ADA sont attrayantes, y compris pour la gestion d'entités de bas niveaux (ports "série", ports "parallèle", interruptions).

De meilleures relations de LISP avec le système d'exploitation sous-jacent sont à espérer.

Enfin, il paraît sain, surtout dans le contexte d'un système LISP embarqué sur des robots (pas d'utilisation d'éditeur de textes, ni de disques, ni de lecteur et imprimeur sophistiqués, ...), de "réduire" LISP

essentiellement à son évaluateur, accompagné de quelques 500 fonctions prédéfinies, afin qu'il exploite ses capacités de gérer efficacement:

- des arbres (il est avant tout dédié à ça),
- sa pile (pour la détection des récursivités terminales),
- des fonctionnelles (fonctions recevant des fonctions en argument et les appliquant),
- des messages (listes ou arbres) du réseau d'acteurs de l'application au plus haut niveau.

8. Notes

(1) NORME FRANÇAISE. (1987). **Manuel de référence du langage de programmation ADA**. Eyrolles.

(2) BARNES, John. (1988). **Programmer en ADA**. Inter Editions.

(3) BOOCH, Grady. (1988). **Ingénierie du logiciel avec ADA**. Inter Editions.

(4) SOMMERVILLE, Ian et MORRISON, Ron. (1987). **Software Development with ADA**. Addison Wesley.

(5) BRAY, Gary et POKRASS, David. (1985). **Understanding ADA. "Software Engineering Approach"**. John Wiley and Son.

(6) Revue "Génie Logiciel et Systèmes Experts". **ADA. Les technologies "objets"**. Numéro 17, décembre 1989.

(7) LE ROCH, M.-F. et NOWAK, G. (1990). **Synchronisation de robots avec ADA**. Compte rendu de projet en DESS-ISI, Université Paris VI, février.

(8) GIORDANO, Max et LOTTIN, Jacques. (1990). **Cours de Robotique. Description et fonctionnement des robots industriels**. Armand Colin.

(9) PRUSKI, Alain. (1988). **Robotique Générale**. Eliposo.

(10) COIFFET, Philippe et CHIROUZE, Michel. (1982). **Éléments de robotique**. Hermes.

(11) **Documentation du robot "Youpi"**. J.D. Productique, 1988.

(12) **Textes de la "Conference on Application and Theory of Petri Nets"**. Université Paris VI et Bull, juin 1990.

(13) COUSIN, B. et ESTRAILLIER, P. (1988). **Traduction et analyse d'un modèle en vue d'une implémentation optimale**. Université P. et M. Curie, Masi-219, janvier.

(14) BERNARD, J.M., MOUNIER, J.L., BELDICEANU, N. et HADDAD, S. (1986). **Atelier de modélisation interactif (AMI)**. . Université P. et M. Curie, Masi-226, février.

(15) MENDELBAUM, H.G. (1985-1990). **CASDA: Synthesized Graphic Design of Real-Time Systems**. Jerusalem College of Technology.

(16) AGHA, Gal A. (1986). Actors: **A Model of Concurrent Computation in Distributed Systems**. The MIT Press, Cambridge, Massachussetts.

(17) **Textes des journées AFCET-Informatique du groupe de travail sur les "Langages Orientés Objets"**. Bigre + Globule, 1983 à 1988.

(18) BOND, A. et GASSER, L. (1988). **Distributed Artificial Intelligence, Communication, Coordination**. Lecture's notes. Morgan-Kaufman.

(19) DARCHE, P. (1990). **Conception et réalisation d'un environnement de contrôle d'acteurs robotiques**. Rapport de DEA, Université Paris VI, à paraître, septembre.

(20) PEYTON JONES, Simon L. (1990). **Mise en oeuvre des langages fonctionnels de programmation**. . Prentice-Hall, Masson.

(21) **Méta-Vlisp. Manuel d'utilisation de l'interprète**. Université P. et M. Curie, mars 1988.

(22) SAINT-JAMES, E. (1987). **De la Méta-Récursivité comme outil d'implémentation**.Thèse d'état, Université P. et M. Curie, décembre.

(23) BARBOT, B. et SZLEG, P. (1989). **Portage du système Méta-Vlisp sur transputer et applications**. Rapport de DEA, Université P. et M. Curie, septembre.

(24) NOWAK, G. et LE ROCH, M.-F. (1989). **Méta-Vlisp, langue maternelle pour acteurs "robotiques"**. Robotique Pédagogique, Le Mans.

NOWAK, G. et LE ROCH, M.-F. (1990). **Méta-Vlisp, langue maternelle pour acteurs "robotiques"**. Journées Francophones sur les Langages Applicatifs, La Rochelle.

(25) ALLAN, J. (1978). **Anatomy of LISP**. Mac Graw Hill.

(26) QUEINNEC, C. (1982). **Langage d'un autre type: LISP**. Eyrolles.

(27) CAYROL, M. (1983). **Intelligence Artificielle et Robotique. Le langage LISP**. Cepadues Editions, Techniques avancées.

(28) KIREMITDJIAN, G. et ROY, J.P. (1984). **LISP**. Nathan.

(29) WINSTON, P.H. et HORN, B.K.P. (1981, deuxième édition 1984). **LISP**. Addison Wesley.

(30) QUEINNEC, C. (1984). **LISP: mode d'emploi**. Eyrolles.

(31) WERTZ, H. (1985). **LISP - Une introduction à la programmation**. Masson.

(32) **Transputer Reference Manual**. INMOS, 1986.

(33) LE ROCH, M.-F. et NOWAK, G. (1985). **En amont de Logo... Apprentissages au cours moyen: Communication, Coordination**. Compte-rendu d'expérimentation, juin.

PROPOSITIONS POUR UN ENSEIGNEMENT DES AUTOMATISMES ET DE L'INITIATION À L'INFORMATIQUE INDUSTRIELLE EN COURS DE TECHNOLOGIE DES CLASSES DE COLLÈGE.

Gérard TAURIAC
Service universitaire de formation de maîtres et des formateurs
Université d'Orléans

Résumé

La mise en place, dans le cadre de la Technologie, d'un enseignement des automatismes et d'une initiation à l'informatique industrielle dans les classes d'enseignement général des collèges, nous a conduit à une réflexion sur les conditions et les moyens de mise en oeuvre de cette "nouvelle discipline".

L'analyse des contenus a permis de faire émerger les concepts mis en jeu et d'analyser la transposition de la référence industrielle nécessaire aux conditions d'enseignement. Cela nous a conduits à réaliser des maquettes didactiques, un logiciel et des documents élèves adaptés au modèle pédagogique choisi: analyse-construction-structuration.

L'expérimentation de ces outils par une équipe de professeurs formés à leur utilisation est en cours dans quatre collèges de l'agglomération orléanaise.

C'est le contenu de cette réflexion, les outils produits et les premiers résultats de cette expérimentation que nous présentons dans notre communication.

I. Le cadre institutionnel

Les programmes de technologie de 1985, pour la première fois dans l'enseignement français, accordent une place à l'enseignement des

étudiant au Laboratoire et professeur de 5e année à l'école Hébert. Plus systématiquement, cette démarche a fait l'objet d'une thèse de doctorat intitulée "Un robot pédagogique pour l'apprentissage des concepts informatiques" de Enriqué Ruiz Velasco Sanchez (1989). L'auteur a construit avec un ascenseur jouet, un support concret à la planification, l'analyse et la programmation des séquences d'opérations de cet ascenseur. Les élèves de troisième année de l'école primaire ont réussi, après seulement 3 séances de 20 minutes, à développer des algorithmes de programmation leur permettant d'optimiser puis de programmer les déplacements de cet ascenseur, prenant en compte cinq appels associés à cinq destinations. Paul D'Amour (1990) du Laboratoire de robotique pédagogique a construit sur ordinateur un système pour l'évaluation d'activités à caractère inductif.

La démarche en action proposée est proche d'une démarche de recherche développement en technologie. Elle suppose que c'est l'élève qui aura fixé ses objectifs en fonction de ses intérêts et de ses possibilités, et que c'est lui qui discutera de l'atteinte de ceux-ci dans une présentation du projet qu'il aura conçu, construit et mis à l'essai. Les progrès de l'élève ne s'évalueront pas par une somme de connaissances et de capacités diverses mais par l'intégration originale de celles-ci. Cette intégration se manifestera par la réalisation de l'objet technologique qu'il devra présenter dans son étape finale de réalisation, lors d'une ultime mise à l'essai. Cette pédagogie axée sur un projet individuel est insérée dans une finalité collective où chaque projet va s'intégrer dans un parc d'attraction envahissant toute l'école où tous ces manèges seront présentés aux parents à la fin du trimestre.

Cette pédagogie prometteuse aux yeux des pédagogues et des chercheurs en didactique implique une démarche de gestion au niveau de l'école qui permettra de rendre ce projet réaliste et viable à long terme. Nous allons soumettre un ensemble de conditions essentielles dans le but d'amorcer une réflexion structurée pour implanter un tel projet.

Pour la directrice de l'école Hébert il fallait, préalablement à l'implantation d'un tel projet, effectuer les démarches et respecter les conditions préalables suivantes.

En tout premier lieu, les professeurs, après avoir examiné les bénéfices et les contraintes ont eu à décider de faire de ce projet leur projet d'école.

Après quoi, on a dû s'assurer de l'appui, essentiel à la mise sur pied d'un tel projet, de la commission scolaire. La conviction et l'enthousiasme des enseignants de l'école de même que le sentiment d'importance que revêt un tel projet aux yeux des parents ont été des arguments convainquants lors de la présentation du projet aux instances administratives de la Commission scolaire Ste-Croix. D'autre part, les recherches récentes en didactique sur l'enseignement inductif, de même que le besoin pressant de former les jeunes aux concepts tecnnologiques avaient déjà convaincu le directeur des services pédagogiques de cette commission scolaire de la pertinence d'un tel projet.

Le travail de sensibilisation nécessaire pour concrétiser ces appuis a consisté à réaliser des mini ateliers issus d'activités parascolaires en robotique impliquant des élèves de l'école. Administrateurs, enseignants et parents ont pu constater de visu l'enthousiasme des élèves, leur implication et leurs aptitudes.

En deuxième lieu, pour assurer la viabilité et la qualité du projet, il a fallu s'assurer de la collaboration du groupe de recherche universitaire. La direction de l'école à dû convenir du type de support apporté par les chercheurs de l'Université, ici une formation continue des professeurs dans leur milieu et des ajustements de la pédagogie au fur et à mesure de l'implantation du projet. La direction voulait aussi s'assurer que les chercheurs seraient capables de s'insérer, voire de se subordonner à un projet d'école avec des buts différents et des contraintes d'horaire et de programme. Il fallait de plus que les chercheurs ne se concentrent pas sur un projet élitiste qui ne toucherait que quelques élèves, mais que les retombées du projet touchent absolument tous les élèves de l'école Hébert.

Après une première année de vie du projet il ressort les constatations suivantes:

l'ensemble des intervenants universitaires et scolaires constatent que ces activités de robotique pédagogique nous permettent d'atteindre non seulement les objectifs généraux d'initiation aux sciences et aux technologies, mais aussi qu'il est facile d'adapter ces activités pour répondre au programme scolaire par le biais de l'intégration des matières (mathématique, francais, arts plastiques...).

Les professeurs ont pu vérifier le réalisme pédagogique d'un tel projet. Dans un souci de rentabilité pédagogique, ils ont travaillé à faire le lien entre les objectifs spécifiques du programme et leur intégration dans le cadre de l'activité de robotique. Ce travail s'est effectué à tous les niveaux de l'école, de la maternelle à la sixième année. De plus, avec la collaboration des chercheurs de l'Université, ils ont pu établir le type de formation qu'il leur faudrait acquérir pour supporter pédagogiquement la démarche de leurs élèves. Enfin, tous sont d'avis que l'enthousiasme manifesté par les élèves est le gage de la réussite d'un tel projet d'école.

Les parents sont pour leur part rassurés de voir que leurs enfants, en réalisant des projets à caractère technologique, se préparent et s'outillent pour s'insérer dans le monde de demain, monde qui leur paraît à eux-mêmes si complexe et si difficile à appréhender.

Bibliographie

D'AMOUR, P. (1990). **Un outil pédagogique pour visualiser et gérer les rapports entre des activités d'apprentissage et les objectifs du programme de mathématique de première année du primaire.** Université de Montréal, Laboratoire de robotique pédagogique, Faculté des sciences de l'éducation, thèse de doctorat.

NONNON, P. et LANGLOIS, M. (1990). **Une application de robotique pédagogique sur le thème "La Ronde" où de jeunes enfants sont initiés aux sciences et aux technologies.** Minds in Motion, York University.

RUIZ-VELASCO SANCHEZ, E. (1989). **Un robot pédagogique pour l'apprentissage de concepts informatiques.** Université de Montréal, Faculté des sciences de l'éducation, thèse de doctorat.

LES 3 NIVEAUX D'EXPERTISE DE C.A.R.E.S.
(Concept d'Apprentissage de la Robotique dans l'Enseignement des Sciences)
(Computorized Approach to Robotics in Elementary Sciences)

Roger PELCHAT
Directeur d'école
Auteur de C.A.R.E.S.

Résumé

C.A.R.E.S. est un concept d'apprentissage qui propose à des élèves, dès le cours primaire, de CONCEVOIR, d'ASSEMBLER, de TESTER et de PROGRAMMER des robots dans un processus de résolution de problèmes. La démarche d'apprentissage s'articule autour de 4 objectifs: la conception, l'assemblage et la mise à l'essai, l'automatisation ou la délégation à l'ordinateur, l'exécution et l'évaluation. Tous les élèves de la classe participent à la résolution d'un problème technologique à l'aide des robots qu'ils ont conçus à cette intention. Chaque équipe de 6 élèves apporte sa solution originale au problème proposé. C.A.R.E.S. offre pour chaque degré une situation d'apprentissage distincte:

NIVEAU D'EXPERTISE	SITUATION D'APPRENTISSAGE	GUIDES	
		maître	élève
Débutant	Le robot entou isseur	√	√
Intermédiaire	Le robot jard i n ier	√	√
Avancé	Le tiras art i cu lé Les feux de circulation programmés	en préparation	√ √

Au niveau secondaire, le logiciel et le contrôleur de C.A.R.E.S. sont utilisables en physique et sciences physiques, en initiation aux sciences informatiques (I.S.I.) et en initiation à la technologie (I.A.T.).

Abstract

C.A.R.E.S. is a learning concept which allows students at the elementary level to CONCEIVE, ASSEMBLE, TEST and PROGRAM robots in a problem solving environment. The learning process revolves around 4 main topics: the conception, the assembling and testing, the automation or transfer of control to the computer, the execution and evaluation. In grade school, 4th to 6th grade, all students participate in solving a technical problem with the help of robots built by them for this purpose. Team of six students present their own solution to a given problem. C.A.R.E.S. propose different learning environments according to various age groups (or grade):

LEVEL	LEARNING ENVIRONMENT	MANUALS	
		teacher	student
Beginner	The nuclear waste processing robot	√	√
Intermediate	The gardener robot	√	√
Advanced	The analogical robot	in preparation	√
	The programmed traffic lights		√

At the high school level, the software and control unit of C.A.R.E.S. are used in physics, introduction to computer sciences and introduction to technology.

1. Qu'est-ce que C.A.R.E.S.?

C.A.R.E.S. est un concept d'apprentissage favorisant l'introduction de la robotique dans l'enseignement des sciences. C.A.R.E.S. privilégie l'évaluation de la moitié des objectifs terminaux prescrits par le programme officiel en sciences au primaire au Québec. L'élève est invité à développer un point de vue personnel sur un problème à résoudre: la conception d'un robot s'inscrit donc comme le prolongement du point de vue de l'élève dans un micro-monde entièrement structuré par lui.

C.A.R.E.S. propose **trois niveaux d'expertise** documentés par un guide pédagogique et au moins un guide d'activités. À ce jour, cinq situations d'apprentissage sont développées.

NIV. EXP.	SITUATION D'APPRENTISSAGE	DURÉE (MOY.)	PROGRAMMATION	EFFECTEURS	MESURE ET CAPTEURS
Déb.	Le robot enfouisseur de déchets nucléaires	20 h	- initiation à la procédure simple	moteur	
Int.	Le robot jardinier	22 h	- procédures simples - procédures de rappel (en moyenne 4 en tout)	moteur ampoule sonnerie	logique
Av.	Le bras articulé	25 h	- jusqu'à 20 procédures	mêmes + él.-aimant	logique analogique
Av.	Les feux de circulation	22 h	- 4 à 6 procédures	mêmes	logique analogique

C.A.R.E.S. supporte au plan informatique un **logiciel** avec son langage de programmation propre, un **contrôleur** logique / analogique et tout un **assortiment de capteurs**, logiques et analogiques.

2. Les objectifs à l'origine de C.A.R.E.S.

Premièrement, C.A.R.E.S. favorise le développement de la pensée scientifique. Tout au long de son cheminement l'élève formule des hypothèses, les vérifie par l'expérimentation et tire les conclusions qu'il juge pertinentes. Dans ce cadre pédagogique, axé généreusement sur la résolution de problème, l'enfant CONSTRUIT peu à peu un point de vue personnel sur le problème technologique à résoudre: il échafaude, par essai et erreur, SA solution. C.A.R.E.S. contribue donc, selon nous, au développement de la pensée scientifique chez l'élève par l'apprentissage et l'utilisation systématique de la démarche expérimentale: formulation d'hypothèse, mise à l'essai et évaluation de la solution à retenir.

Deuxièmement, parce que C.A.R.E.S. propose à l'élève du primaire de CONCEVOIR, d'ASSEMBLER, de TESTER et de PROGRAMMER des mécanismes agissant dans un microcosme structuré, il veut favoriser chez lui une meilleure compréhension de l'environnement technologique dans lequel il évolue. La plupart des innovations contemporaines font appel à l'informatique. La compréhension théorique et pratique de concepts, tels que ceux de «programme» et de «logiciel», est très importante pour l'élève. Une bonne façon de faire réaliser l'implacable logique d'un programme, c'est de lui en faire rédiger un. Que ce programme serve en même temps d'algorithme; de contrôle pour des robots qu'il a conçus, assemblés et testés, voilà que tout un univers technologique s'ouvre à lui.

Troisièmement, C.A.R.E.S. veut proposer un concept d'apprentissage où l'ordinateur sera le processeur d'un mode de contrôle déterminé par l'élève. Cette préoccupation de l'ordinateur «outil d'apprentissage» a toujours influencé le développement de C.A.R.E.S. et constitue un des facteurs importants à son origine.

Quatrièmement, C.A.R.E.S. veut à travers la robotique scolaire, privilégier une approche où l'heuristique et l'algorithme se complètent dans le but de résoudre un problème technologique. Dans la pratique, les élèves utilisent une spirale séquentielle de raisonnements hypothético-déductifs et d'heuristiques pour solutionner une suite plus ou moins sophistiquée de problèmes, problèmes qu'ils ont eux-mêmes inscrits dans l'architecture de leurs mécanismes puisqu'ils en sont les concepteurs. L'intérêt de C.A.R.E.S. réside essentiellement dans une démarche d'apprentissage où l'élève conçoit, assemble, teste et programme son robot. C'est une démarche globale dans laquelle il résout un problème mais demeure tout au long, maître des opérations puisqu'il est l'auteur de sa solution. À lui de corriger, à l'intérieur d'une boucle ACTION / RÉACTION constamment renouvelée, les différentes faiblesses techniques et logiques contenues dans l'idée originale de son robot. Les mécanismes d'apprentissage utilisés par l'élève en robotique pédagogique sont très variés: preuve, "feedback", induction, déduction, heuristiques, généralisation, argumentation, contrôle, preuve, etc.

3. C.A.R.E.S. en réaction envers l'enseignement traditionnel des sciences au primaire

Dans la vision traditionnelle de l'enseignement des sciences au primaire tout est prévu: l'objectif à atteindre, la durée de l'expérience, le matériel à utiliser, le cheminement et souvent, le résultat à atteindre. C'est ce qu'on pourrait appeller la "vision du corridor". On y retrouve peu de place pour la créativité, l'imagination ou tout simplement l'erreur.

Au contraire, C.A.R.E.S. propose une pédagogie de l'erreur, une vision expérimentale du développement de la pensée scientifique, une démarche d'apprentissage où la règle de l'évidence est constamment présente et où la créativité devient reine. L'élève doit constamment faire preuve d'imagination et de créativité dans l'échafaudage de sa solution; il est invité à présenter une solution originale, à "travailler sur sa compréhension du réel" plutôt que de viser simplement à le reproduire. L'important, c'est que sa solution fonctionne.

4. Une didactique des seuils

En robotique pédagogique nous constatons que l'élève franchit TROIS SEUILS D'APPRENTISSAGE successifs.

Il apprend :

- en premier, à travailler AVEC les objets (familiarisation).

  Cette étape est celle où l'élève prend contact avec le problème et le matériel de base. Il n'échafaude pas encore de solutions. Par matériel de base, on entend ici ce que l'élève utilise pour construire ses divers mécanismes. En l'occurence, nous recommandons les ensembles Fischertechnik[MC].

- ensuite, **à travailler COMME les objets** (reproduction du réel connu).

  Durant cette étape, l'élève construit des robots en s'inspirant d'architectures connues. Il utilise son bagage personnel de connaissances et d'heuristiques pour tenter de solutionner le problème auquel il est confronté.

- enfin, **à travailler SUR les objets** (construction d'une représentation symbolique).

  Par OBJET, nous entendons ici tout ce qui peut être intégré aux mécanismes conçus par les élèves et qui contribue à la résolution du problème proposé. Durant cette troisième étape, ils feront appel à toute leur imagination et à leur créativité pour intégrer dans un robot un élément tout à fait novateur, habituellement étranger à son nouvel environnement. À titre d'exemple, un élève pourra ajouter à un robot niveleur, un bout de bois et le fixer à un bras ou encore, utiliser un contenant quelconque dans une autre fonction que celle pour laquelle il a été conçu. Dans ce troisième seuil, l'élève choisit d'intégrer à son robot un élément de matériel complémentaire (carton, bois, contenant, etc.) afin de satisfaire une idée qui, à ses yeux, ne pouvait l'être par le matériel de base.

Tous les enfants suivent un CHEMINEMENT semblable. Cependant, il importe de souligner deux variables importantes:

1° Le temps de passage entre chaque seuil varie d'un individu à l'autre.

2° Tous les élèves n'atteignent pas le troisième seuil d'apprentissage.

D'ailleurs sur ce dernier point, il est très intéressant de constater la dynamique à l'intérieur de chaque équipe de 6 élèves. Généralement c'est l'élève qui atteint ce troisième seuil d'apprentissage qui devient le meneur de son équipe. Parfois, nous assistons à des revirements et des conflits importants. L'apprentissage du travail en équipe constitue une étape importante à développer au niveau débutant.

D'ailleurs, au niveau de l'apprentissage, il permet à l'élève une saine confrontation des perceptions essentielles à l'objectivation, elle même très importante dans la phase de conception. Pour que l'élève puisse concevoir un robot, il doit avoir très bien compris toutes les données du problème, les possibilités et limites du matériel de base et finalement, avoir développé un point de vue personnel sur la partie du problème qui le concerne.

Nous pouvons observer:

- Que la robotique constitue une formidable interface cognitive favorisant le passage de ces trois seuils d'apprentissage.

- Que parfois, la prise de contrôle de l'équipe est assumée par l'élève qui franchit le troisième seuil (leadership fonctionnel).

- Que l'élève garde toujours son intérêt car la robotique scolaire fait beaucoup appel au savoir-faire: manipuler, dessiner, construire.

- Que l'attrait de la culture technologique est généralement accru chez la plupart des élèves.

- Que les filles développent une nouvelle attitude devant les questions technologiques. Construire et manipuler ne seront plus à priori des activités réservées aux garçons.

5. Une définition du robot

C.A.R.E.S. définit le robot comme un mécanisme programmable constitué d'effecteurs et de capteurs qui opèrent dans un environnement structuré.

Par effecteur, nous entendons tout système qui agit dans l'environnement et qui par voie de conséquence intervient sur un des facteurs physiques qui le compose: moteur, ampoule, sonnerie, élément chauffant, électro-aimant, etc.

Par capteur, nous entendons tout système qui réagit à un facteur physique spécifique: chaleur, choc, champ magnétique, position, texture, etc.

6. Le langage de programmation de C.A.R.E.S.

C.A.R.E.S. innove en offrant à l'élève un support informatique (logiciel et contrôleur) original, adapté et facile d'utilisation. Le langage de programmation de C.A.R.E.S. compte au niveau débutant trois primitives (sortie - direction - durée). Au niveau débutant, une commande compte 3 instructions inscrites dans une procédure simple, comme dans le langage logo.

Exemple: pour exemple;
m1 g 2,34;
m2 d 1,54;
fin

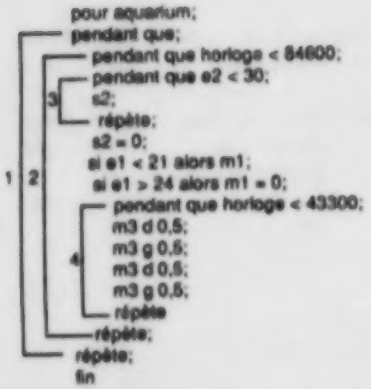
Aux niveaux intermédiaire et avancé, avec l'ajout de capteurs, la mesure vient ajouter une certaine forme d'intelligence aux mécanismes conçus par les élèves. La programmation devient modulaire (ajout de procédures simples et de rappel) et inclut l'utilisation de boucles de répétition (pendant que / répète), de règles de production (si.. alors), de pauses, d'opérateurs relationnels, d'une horloge et de compteurs. Bref, sa boîte à outils est pleine. Il ne lui reste plus qu'à laisser son imagination travailler: construire une traverse piétonnière sécuritaire avec feux programmés, contrôler son aquarium ou son incubateur, programmer son mobile autonome dans un labyrinthe, etc.

Voici un exemple de programme du niveau intermédiaire, comptant 2 procédures simples et une de rappel:

```
Ex: pour feu_vert;      pour feu_jaune;   pour feu_rouge;   pour *feux;
    pendant que e1 = 1; s3 5;             horloge = 0;      feu_rouge;
    m1 d;               s4 5;             pendant que e2 = 0; feu_vert;
    répète;             fin               répète;           feu_jaune;
    m1 = 0;                               fin               fin
    s2 30;
    fin
```

m1 = moteur activant une barrière
s2 = feu vert
s3 = feu jaune
s4 = sonnerie
s5 = feu rouge
e1 = capteur de contact
e2 = photorésistance en mesure logique

Au niveau avancé, le programme sera utilisé pour contrôler divers environnements modélisés et opérationnels. Les situations d'apprentissage seront la plupart du temps, réalistes et surtout signifiantes: incubateur programmé, aquarium programmé, robot mobile et autonome, bras articulé, feux de circulation, maison sécuritaire, chaîne de production, serre automatisée, etc. À ce niveau l'utilisation des capteurs se fait autant en mesure logique qu'en mesure analogique et leur nombre s'accroît considérablement: de contact, interrupteur à lame souple, photorésistance, phototransistor, coupleur à effet Hall, interrupteur optique, capteur réflexif, potentiomètre, etc. Voici un exemple de programme de niveau avancé contrôlant une partie des zones de contrôles d'un aquarium:



boucle 1 = déroulement continu
boucle 2 = contrôle de la durée
boucle 3 = contrôle de la luminosité
boucle 4 = actions répétées

EFFECTEURS
m1 = élément chauffant
s2 = ampoule
m3 = mécanisme pour nourrir les poissons

CAPTEURS
e1 = capteur de chaleur
e2 = photorésistance

7. Asservissement en boucle ouverte

Puisque programmer c'est prévoir, l'élève devra tout prévoir: chaque action de chaque effecteur et chaque réaction de chaque capteur. En robotique pédagogique, dans le micro-monde de C.A.R.E.S., le contrôle de procédés physiques est réalisé en BOUCLE OUVERTE. Celle-ci se déroule comme suit:

1 Une commande, inscrite et exécutée séquentiellement dans un programme, est acheminée au contrôleur par un ordinateur.

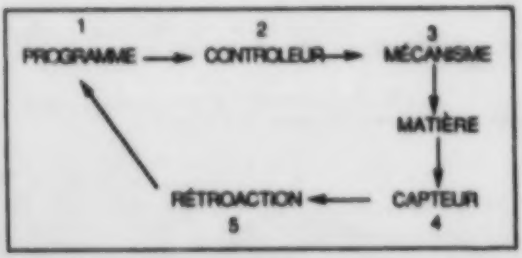
2 Un CONTROLEUR (ordinateur) émet à son tour une commande, généralement sous forme numérique, au mécanisme du robot: un bras articulé ou un outil quelconque. Cette commande active un effecteur (sortie) ou effectue une mesure de l'état d'un capteur (entrée).

3 Un MÉCANISME obéit à la commande du contrôleur et agit sur la matière à transformer (environnement) par le biais d'un effecteur.

4 Suite à l'action de l'effecteur, le capteur réagit au facteur physique qui le caractérise: chaleur, choc, lumière, champ magnétique, texture, etc. Le capteur a une fonction de perception dans l'environnement du robot.

5 Comme nous sommes en asservissement en boucle ouverte et qu'aucune rétroaction entièrement autonome n'est possible dans le micro-monde de C.A.R.E.S., l'élève doit donc prévoir dans son programme la commande suivante en fonction de l'action de l'effecteur et de la mesure prévisible du capteur.

6 Le contrôleur, instruit de la commande suivante, envoie une nouvelle impulsion électrique à un effecteur ou vérifie la valeur d'état d'un capteur.



8. Conséquences sur l'apprentissage

Un robot pédagogique est constitué d'effecteurs et de capteurs qui agissent dans un environnement déterminé entièrement par l'élève. La boucle ouverte constitue une situation d'apprentissage très riche en elle-même car elle exige que l'élève définisse toute l'intelligence de son mécanisme. Avec l'ajout des capteurs c'est tout le champ de la mesure qui

intervient. Mesure logique ou analogique, capteurs spécialisés, actions d'effecteurs conditionnelles à telle ou telle valeur de capteur, voilà autant de décisions qui s'appuient toutes sur une qualité essentielle: la rigueur. Rigueur dans la mesure, dans la programmation, dans la mise à l'essai de chaque capteur, dans la séquentialisation des actions d'effecteurs. Toute l'importance de la rigueur comme valeur éducative en sciences prend alors tout son sens. L'élève a la responsabilité totale des robots qu'il a conçus, assemblés, testés et programmés.

Bibliographie

COIFFET, Philippe (1986). **La robotique, principes et applications**. Hermès, Paris, 433 pages.

EN COLLABORATION (1987). **La recherche en intelligence artificielle**. Collection La Recherche, Édition du Seuil, Paris, 377 pages.

LEMOIGNE, Jean Louis (1986) (ouvrage coordonné par). **Intelligence des mécanismes, mécanismes de l'intelligence**. Fayard, Paris, 368 pages.

PELCHAT, Roger (1988). **Le robot enfouisseur de déchets nucléaires, guide pédagogique**. Édition Robots pédagogiques, Montréal, 170 pages.

PELCHAT, Roger (1988). **Le robot jardinier, guide pédagogique**. Édition Robots pédagogiques, Montréal, 210 pages.

LA ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE DANS L'ENSEIGNEMENT DE LA GÉOMETRIE PHYSIQUE ET PROJECTIVE

Enrique RUIZ VELASCO SANCHEZ
UNAM-CONACYT
CISE
Circuito Exterior
Ciudad Universitaria de Mexico

L'objectif de ce travail est de proposer une réflexion et de favoriser une meilleure compréhension des problèmes posés par les rapports enseignement et apprentissage en géometrie de façon générale, et en géométrie physique et projective de façon particulière.

Les méthodes traditionnelles d'enseignement de la géometrie élémentaire obligent l'élève à faire un apprentissage par coeur de connaissances enseignées par des adultes. On oublie souvent que les enfants ont besoin de développer leur capacité créatrice et novatrice et on leur demande uniquement de mémoriser et de répéter de la meilleure façon possible les contenus d'apprentissage qui en fait sous utilisent leur potentiel.

L'apprentissage de la géométrie qui est enseignée aux enfants, présuppose qu'un certain nombre de préalables soient connus des enfants, ce qui n'est malheureusement pas toujours le cas.

La nécessité de renouveler l'enseignement de la géométrie commence à être désiré par les éducateurs, les psychologues, les mathématiciens. Nous croyons qu'ils ont raison de vouloir modifier leurs modes d'enseignement et nous sommes déjà en mesure de justifier certaines de leurs positions.

Le jeune enfant commence par organiser ses déplacements dans un espace restreint en allant progressivement vers des espaces variés et à

chaque fois plus grands et plus complexes. À travers ses expériences, il organise spontanément sa conception de l'espace. Il existe cependant une rupture dans le développement spontané des enfants, surtout lorsque ceux-ci tentent de s'approprier les grands espaces urbains, c'est-à-dire leur macro-espace[1].

Cette rupture est principalement déterminée par la dichotomie entre le désir de l'enfant d'étendre son contrôle sur son environnement d'une part, et d'autre part les restrictions imposées par les adultes qui cherchent à les protéger des dangers possibles .

On s'accorde généralement pour dire que les personnes les plus compétentes pour s'orienter dans l'espace urbain sont des personnes qui y voyagent constamment. Les chauffeurs de taxis, les facteurs, etc. sont ordinairement plus en mesure de se représenter avec facilité des circuits et des trajets dans l'espace urbain. L'organisation de l'espace n'est donc pas le seul produit du développement psychologique spontané. Il est évident que l'apprentissage intervient dans le processus par le biais de l'expérience et de la mise en situation. Cette forme d'enseignement peut et doit être promue à l'école élémentaire.

Cette proposition essaie de développer des modalités didactiques pour que l'enfant apprenne à s'orienter de façon autonome dans son environnement, en développant en même temps sa confiance. Ainsi, l'enfant pourra apprendre à s'approprier son macro-espace, en maniant certains concepts géométriques.

Pour ce faire, on a créé des situations didactiques où les enfants se posent des problèmes relatifs à l'espace, et essaient de les résoudre "spontanément" en adoptant un processus où ils devront construire des connaissances. Ainsi ils devront d'abord imaginer, des situations qui requièrent la construction des concepts impliqués par la production de cartes ce qui oblige l'enfant à se représenter l'espace urbain.

---

1 - Brousseau, Guy. Cité par Gálvez, Grecia dans: "El aprendizaje de la orientación en el espacio urbano". Thèse de doctorat. DIE-CINVESTAV-IPN, México, 1985. p. 54.

Pour construire cette représentation, les enfants feront usage d'un petit robot et de l'ordinateur. De plus, les professeurs simuleront des situations que les enfants pourront pratiquer pour favoriser l'apprentissage.

C'est presque impossible de donner à l'enfant une connaissance totale de son contexte urbain, puisque cela impliquerait d'amener l'enfant à parcourir toute la ville et même si cela était possible, il ne le ferait qu'une fois seulement. Il n'aurait pas la possibilité de "s'entraîner", c'est-à-dire, de parcourir plusieurs fois cet environnement. C'est pour palier à ce type de contraintes que le petit robot et l'ordinateur deviennent des éléments essentiels pour générer et simuler différentes situations pour amener l'enfant à s'orienter dans son milieu urbain, et à acquérir en même temps d'autres connaissances géométriques.

Nous ferons donc la description théorique du "design" didactique pour décrire les situations qui ont été construites pour reproduire l'espace urbain.

L'invention de la géométrie théorique a eu d'énormes conséquences pratiques déjà depuis les Égyptiens et les Grecs. On a pu préciser les modèles du comportement des étoiles et des planètes pour l'orientation des marins et en tirer des lois en physique et en mécanique.

Néanmoins, la géometrie a surgi comme une science empirique. De cette géometrie empirique ou physique a émergé une théorie de la structure de l'espace physique.

Cette géometrie physique est à la base de toute une série d'activités humaines qui requièrent le contrôle des relations spatiales: dessin et construction des objets physiques (pièces de machinerie, bâtiments, routes, cartes géographiques, etc.).

Pour aborder le sujet de l'espace physique et des notions spatiales nous croyons que "...les concepts d'espace se construisent progressivement à partir des expériences de déplacements du sujet..."[1].

Si on considère uniquement l'enseignement de la géométrie, on peut penser qu'une fois que l'enfant a acquis certaines connaissances en logico-mathématique, il les appliquerait directement sur les formes et les figures perçues et que de cette façon, la géométrie ne serait qu'une application de la mathématique. L'on sait cependant que l'enfant possède et élabore une géométrie par ses actions, avant d'être soumis à des enseignements.

L'enfant construit ses notions spatiales de façon progressive en fonction de ses déplacements il maîtrise déjà avant de marcher, son micro-espace[2], et une fois qu'il est capable de marcher, il maîtrise son meso-espace[3]. Or lorsque l'enfant entre à l'école et qu'il a besoin pour la première fois de sa vie de se déplacer dans un espace qualitativement plus ample il a des problèmes à développer une vision globale et à élargir son macro-espace. Ainsi, l'enfant a besoin d'orienter ses déplacements, par l'union de ses visions partielles. Ainsi par exemple il devrait avoir au moins une vue aérienne pour récupérer la continuité de l'espace parcouru entre sa maison et son école. L'enfant a donc forcément besoin de conceptualiser pour arriver à se construire une image d'ensemble, c'est-à-dire son macro-espace.

Pour s'orienter dans son macro-espace, l'enfant organise d'abord son schéma corporel (les notions de devant, derrière, droite, gauche) mais comme ce système varie au fur et à mesure que l'enfant tourne sur lui-même alors, surgit le problème d'arriver à coordonner ce système avec son contexte physique immédiat. Il arrivera à cette étape

---

1 - Piaget, J. et al. "La epistemologia del espacio". El Ateneo, Buenos Aires, 1971.

2 - Brousseau, Guy., op. cit., p. 49.

3 - Brousseau, Guy., op. cit., p. 52.

plus tard, en utilisant un système de références externes au sujet, de tel façon, que les directions restent invariantes malgré le changement d'orientation du sujet.

L'observation et l'expérience montrent donc qu'avant de se former des invariants relatifs aux déplacements, on observe certains invariants qualitatifs qui se réfèrent aux environnements, aux fermetures, aux ouvertures, au continu et au discontinu, à l'ordre conçu comme des compositions des environnements et des séparations, etc. Il existe un niveau du dessin (du concept) à l'intérieur duquel, le triangle, le carré, etc., sont représentés par des intersections des lignes. À ce niveau, l'enfant pourra dessiner un petit cercle à l'intérieur d'un plus grand, mais sans en considérer les angles.

D'autre part, selon Piaget, les invariants de la métrique euclidienne se construisent au même stade (7-8 ans) que les invariants projectifs et leurs affinités (conservation des parallèles dans les transformations contigus au losange et ses ressemblances. Finalement, la construction des systèmes naturels de coordonnés (un axe horizontal et un axe vertical) annonce la fin des opérations concrètes spatiales (9 ou 10 ans). L'enfant coordonne sa perspective avec deux ou trois objets différents.

La construction de l'espace représentatif chez l'enfant (la maîtrise de la géometrie) est effectuée différemment de l'ordre historique des découvertes géométriques. Ainsi par exemple, contrairement à l'ordre des découvertes géométriques, l'enfant considère d'abord les relations topologiques d'une figure (voisinage, séparation, ordre, intérieure, extérieure, frontière, etc.) en même temps que les projectives (gauche, droite, contemplation d'une certaine distance, etc.) et les euclidiennes.

Les programmes de géométrie des six années de l'élémentaire incluent ordinairement les thèmes suivants; propriétés et localisation des objets, propriétés des lignes, identification et reproduction des figures géométriques, mesure de longueur, d'aire, de volume et de capacité, symétrie des axes, rotation et angles, plan cartésien et reproduction à l'échelle. De plus, ces concepts sont habituellement transmis en trois temps;

présentation de l'objet nouveau, exercices de reproduction de l'objet et application pratique à l'aide d'activités.

La séquence du programme et les modes d'enseignement utilisés (démonstration et reproduction) ne facilitent pas nécessairement la connaissance des propriétés d'une figure et ne contribuent pas de façon suffisante à la construction des concepts et à l'élaboration des structures cognitives de l'élève.

Nous croyons qu'il est essentiel de présenter une solution de rechange à l'approche traditionnelle d'enseignement (démonstration et reproduction). Nous allons alors proposer une modalité nouvelle d'enseignement de la géométrie à l'élémentaire que nous allons baser sur l'expérience géométrique plutôt que sur l'idéal formel qui inspire l'enseignement traditionnel.

Mais en quoi consiste l'expérience géométrique? On va mieux comprendre si on la compare à l'expérience de l'enseignement de l'algèbre. Pendant que l'apprentissage de l'algèbre se fait indépendamment de tout support matériel et se base uniquement sur les relations abstraites introduites par des situations arithmétiques, l'apprentissage de la géométrie se fait à partir de relations associées à la perception de l'espace géométrique de l'enfant et à ses déplacements dans cet espace. Lors de ses premiers pas dans la vie, l'enfant organise son expérience sensible selon différents schèmes qu'il élabore pendant qu'il apprend à ramper, à marcher, à monter et à descendre, etc. Il associe alors constamment actions et perceptions.

C'est de la relation entre le sujet et l'espace qu'émerge la conception de la géometrie physique en tant que théorie de l'espace physique occupé par l'objet et le sujet et que ce dernier construit pour organiser et contrôler ses interactions, ses déplacements dans l'espace.

Pour reproduire cette réalité de l'enfant et pour lui permettre d'en faire une étude empirique, nous proposons la robotique comme moyen didactique. Nous voulons que des robots évoquent par leurs déplacements

les concepts nécessaires à un apprentissage familier (inductif) pour l'enfant, d'une **géométrie significative et fonctionnelle**.

En définitive, nous sommes intéressés à générer les conditions pour que l'enfant parvienne à s'approprier les relations qu'il effectue avec son macro-espace urbain à travers des parcours similaires d'espaces urbains réduits à l'échelle (micro-espace) en s'aidant d'un robot[1] (véhicule) et d'un ordinateur.

Bref, on va créer des conditions pour que les enfants puissent faire leurs propres parcours, leurs propres essais, pour déterminer et pour justifier en fonction de cette expérience concrète leur connaissance de l'espace et de la géométrie.

Plusieurs situations didactiques ont été précisées et chacune a un objectif précis. Nous avons commencé par créer des situations très faciles (détermination de points de repère) et ensuite des situations très complexes (dessin de la localisation de l'école par rapport au quartier).

Voici les situations didactiques que nous avons élaborées:

Situations didactiques

- Identification de points de repères: sensibiliser les enfants à la nécessité de se fier à des points de repère dans ses déplacements.
- Recherche d'un objet caché à l'intérieur de la salle de classe: à travers la représentation graphique de l'espace occupé, il s'agit d'apprendre aux enfants à utiliser une carte pour situer les objets de leur meso-espace (salle de classe).
- Représentation graphique de la salle de classe: les enfants feront le dessin de la localisation de la salle de classe dans l'école.
- Représentation graphique de l'école par rapport au quartier: ici les enfants feront un dessin pour localiser de leur école dans la région immédiate.

---

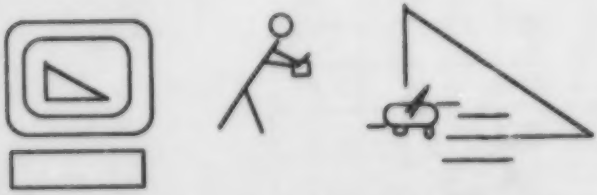
1 - Robots pédagogiques développés au Laboratoire de robotique pédagogique de l'Université de Montréal (1986 et 1989)

- Localisation relative des endroits familiers de la ville de la région.
- Détermination des points cardinaux (aléatoire).
- Détermination des points cardinaux intermédiaires (aléatoire).
- Voyageurs et guides.
- Comment se rendre de la maison à l'école et vice versa: changement du système de référence de l'élève.
- Jeu du facteur.
- Élaboration d'une carte de la ville sans ressources graphiques.
- Élaboration d'une carte de la ville avec des ressources graphiques.
- Élaboration d'une carte de la localisation de l'école avec ressources graphiques.

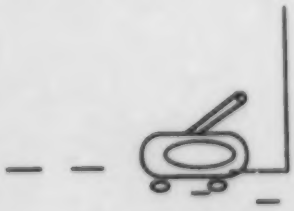
Nous présentons ci-après quelques exemples de situations didactiques que nous avons élaborées et qui nécessitent le support de la robotique pédagogique.

Commandes données par l'élève pendant qu'il actionne la manette de contrôle: AVANT = AVANCER, ARRIERE = RECULER, DROITE = TOURNER A DROITE, GAUCHE = TOURNER A GAUCHE.

Instructions données par l'élève: Commandes variables, DROITE 20, RECULE 30



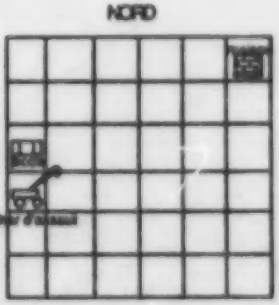
Séquence d'instructions: AVANCE 30, DROITE 30



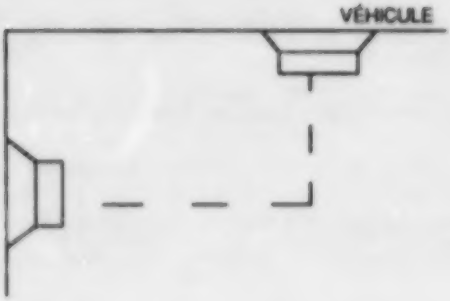
NÉCESSITÉ D'ÉTABLIR UN CADRE (POINTS DE REPÈRE) DE RÉFÉRENCE

Où est la maison? Comment te rends-tu à la maison?

DÉCRIRE LA TRAJECTOIRE DE L'ÉCOLE À LA MAISON

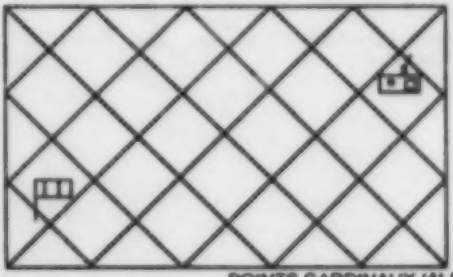


méso-espace



JEU DU FACTEUR

sud-ouest



POINTS CARDINAUX (ALÉATOIRE)

Bibliographie

ARTIGUE, Michèle (1984). "Modélisation et reproductibilité". **Didactique des mathématiques. Cahier de didactique des mathématiques no 8.** IREM, Paris VII.

BLOCK, David, PAPACOSTAS, Alcibiades (1986). "Didáctica constructivista y matemáticas: una introducción". **Cero en Conducta**, no 4, marzo-abril. Mexico.

NONNON, Pierre (1989). "La robòtica pedagògica". **Perfiles Educativos** nos 43-44, enero-junio, Mexico.

NONNON, Pierre (1986). **Laboratoire d'initiation aux sciences assisté par ordinateur**. Publications du Vice-décanat à la recherche, Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, Montréal.

PAPACOSTAS, Alcibiades (1986). "Microcomputadoras en la escuela primaria". **Cero en Conducta**, no 3, enero-febrero. Mexico.

PAPACOSTAS, Alcibiades (1986). "Epistemologia genética y didáctica". **Mimeografiado**, 9 pages. Mexico.

PAPERT, S. (1980). **Mindstorms: Children Computers and Powerful Ideas**. New York, Basic Books.

LA ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE: L'EXPÉRIENCE DE LA DÉCOUVERTE

Hélène TRUDEL et Laura R. WINER
APO QUÉBEC

Résumé

De janvier 1988 à juin 1989, 37 enfants (18 filles et 19 garçons âgés de 7 à 11 ans) de l'école primaire Jonathan de la Commission scolaire Ste-Croix ont été initiés à des activités Lego-Logo. À l'aide de l'ordinateur ils ont exploré, expérimenté et simulé des mouvements mécaniques et des scénarios de mouvements mécanisés, en créant des objets ou en reproduisant des modèles à l'aide de fiches (ou cartes d'idées). Ils ont fait ainsi l'apprentissage de connaissances scientifiques "en faisant" et en pratiquant la résolution de problèmes dans une atmosphère d'échanges, de critiques et de réflexion. La robotique pédagogique est devenue un contexte où des enfants palpent, manipulent, construisent et créent à leur façon le mouvement en l'actionnant à l'aide de la programmation. Conséquemment les enfants appliquaient la robotique pédagogique dans des expériences de découvertes diversifiées.

Abstract

From January 1988 to June 1989, 37 children (18 girls and 19 boys aged 7 to 11 years) from Jonathan School in the Ste. Croix School Board were initiated to Lego/Logo activities. Using objects they invented or reproduced from the Lego idea cards, the children explored, experimented with and simulated movements and scenarios with the aid of a computer. The children thus acquired scientific knowledge "by doing" while experimenting and problem-solving in an atmosphere of exchange, critique and reflection. Educational robotics became a context in which the children could "touch", manipulate, construct and create movement in their own manner by controlling their objects with the aid of programming. The children were able to profit from educational robotics in a variety of discovery experiences.

Les possibilités et l'intérêt de la robotique pédagogique ont été présentés comme une voie menant les enfants à l'apprentissage des concepts dits scientifiques, à la fois par les compagnies qui produisent le matériel de robotique et par des éducateurs (Harel, 1990). Cette nouvelle voie mérite plus d'exploration afin de mieux exploiter les applications pédagogiques de cette technologie. C'est dans le cadre des projets externes rattachés à la Vitrine 2001 d'APO QUÉBEC que nous avons expérimenté un concept d'environnement pédagogique informatisé (EPI) axé sur la robotique pédagogique dans une école primaire de type alternatif: l'école Jonathan de la Commission scolaire Ste-Croix (Barfurth, 1988). Pour nous, le mot robotique fait référence aux robots, qui sont des outils mécanisés et complexes, gérés par ordinateur. Dans ce projet, l'objectif était d'observer des enfants inscrits à des ateliers au cours desquels ils avaient à construire des objets mécanisés à l'aide de pièces Lego Technic qu'ils animaient en les programmant en langage LOGO. Le projet à l'école Jonathan rendait possible l'observation de filles et de garçons âgés de 7 à 11 ans, privilégiant ou non l'activité de robotique dans un contexte où ils étaient libres de choisir une variété d'activités. (Pour une description détaillée du projet et ses résultats, voir Trudel, 1990). Le choix de l'école s'explique par le fait que sa philosophie se préoccupe du rôle de l'enfant dans ses processus d'apprentissage en tenant compte de ses intérêts et de ses besoins, rejoignant par le fait même les préoccupations de la Vitrine.

1. Pré-projet

Du mois d'avril au mois de juin 1987 des élèves de l'école Jonathan avaient été initiés à la robotique pédagogique en participant à la Vitrine 2001 d'APO QUÉBEC. La Vitrine 2001 est elle-même un environnement pédagogique informatisé qui veut stimuler et développer des activités d'apprentissage à l'aide d'une variété d'ordinateurs, de logiciels, d'équipements de sensibilisation, de documents et de mobiliers (Winer, 1988; Winer et Tremblay, 1988). Lors de cette pré-expérimentation les chercheures ont établi les constatations suivantes: une démystification de la technologie; le développement d'un intérêt pour la mécanique qui n'existait pas chez les filles; une importance accordée par les filles au contact humain dans le déroulement de l'atelier; la robotique pédadogique

comme étant un stimulant à la créativité et à la capacité à résoudre des problèmes.

En nous inspirant de ces constatations, nous avons alors formulé nos questions de recherche sur:

1) la motivation des enfants à choisir ou non l'activité de robotique parmi toutes les activités offertes dans un contexte de libre choix;
2) le rôle de la manipulation ou de la fabrication d'objets concrets sur l'acquisition de concepts abstraits;
3) l'apport d'une activité axée sur la robotique au niveau de l'apprentissage de connaissances et du développement de la pensée scientifique;
4) le rôle des interactions enfants/enfants et enfants/adultes dans l'animation et le déroulement de l'EPI;
5) les différences et les similitudes entre les filles et les garçons dans leur implication ou leur dérobade à vouloir participer aux activités de robotique.

2. Projet

En janvier 1988 le projet débutait à l'école avec l'implication d'une petite équipe de travail composée d'un animateur connu du milieu de Jonathan pour avoir initié antérieurement des enfants au langage LOGO et devant assurer l'initiation à la robotique, d'une chercheure responsable de la recherche, et d'une éducatrice responsable du projet à l'intérieur de Jonathan. L'équipe avait mis en place les éléments techniques favorables au démarrage de l'EPI: mobiliers pour ranger les Lego; deux ordinateurs Apple IIe de 64K de mémoire et un Apple IIGS; des cartes d'interface «Caméléon», boîtes de sortie et transformateurs, et le logiciel Logowriter; du matériel Lego Technics.

Le projet s'est échelonné sur trois périodes scolaires correspondant à un an et demi de développement: l'hiver 1988—du 21 janvier au 16 juin et qui comprenait respectivement 3 séries de 16, 10 et 8 ateliers; l'automne 1988—du 21 septembre au 16 décembre comportant 2 séries

composées de 12 ateliers chacune; et l'hiver 1989—du 21 janvier au 16 juin formé de 3 séries de 12 ateliers chacune.

3. Méthodologie

Au cours de ce projet nous nous sommes immiscés dans un milieu scolaire dont la souplesse d'organisation interne permettait d'adopter l'observation comme outil primordial de recherche (Postic et De Ketele, 1988). Nous avons recueilli le maximum d'informations manuscrites, visuelles et auditives. Par la prise systématique de notes, nous avons focalisé nos observations sur: les déplacements des enfants dans l'espace du coin robotique et leur façon de l'occuper; la manière d'utiliser, d'adapter et de s'approprier le matériel de construction et les outils informatiques; les échanges verbaux et gestuels entre les enfants utilisateurs des ateliers d'une part, et ceux qui venaient les flairer du coin de l'oeil.

Par la photographie des objets mécanisés et de l'animation des lieux de l'EPI, nous avons: capté la construction des objets mécanisés en cours d'évolution jusqu'à leur finalisation; représenté l'atmosphère qui règnait pendant les ateliers; intercepté par l'image les comportements et les attitudes des enfants en cours d'apprentissages; conservé les moments où les éducatrices s'initiaient et exploraient la robotique; et saisi la complicité entre l'animateur et les enfants dans leur apprentissage de la programmation et de la simulation du mouvement.

Par les entrevues auprès des enfants et des éducatrices nous avons concrétisé et approfondi nos observations et pallié aux lacunes de la prise de notes.

4. Déroulement du projet

La description de déroulement du projet est divisée en trois parties, c'est-à-dire trois phases telles qu'elles se sont révélées au moment de l'analyse du projet (l'exploration, l'expérimentation et la simulation) et à travers lesquelles les enfants ont concrétisé et développé

leurs connaissances de la robotique. À l'intérieur de chacune d'elles, on retrouve des périodes d'adaptation et des périodes de progression.

Que les trois phases de l'EPI soient si différentes s'explique surtout par le fait que près de la moitié des utilisateurs inscrits (16 enfants sur 37) ont participé à plus d'une série d'ateliers au cours du projet. Ceux-ci entraînaient les nouveaux participants dans leurs expériences, et leur volonté d'approfondir leurs connaissances faisait inévitablement évoluer la dynamique de l'EPI.

a) PHASE 1: <u>L'exploration</u>: (du 21 janvier au 16 juin 1988, comprenant 3 séries d'ateliers)

> Je me suis fait des montages d'engrenages... ça m'a permis de voir ce qui arrivait si ça ralentissait, si ça allait plus vite. (Denis, 11 ans)

L'exploration réfère à la naissance et l'organisation interne de l'EPI: la composition et la durée des séries d'ateliers et les consignes de fonctionnement qui en assurent la dynamique; la délimitation du coin robotique à l'intérieur de la classe; le mobilier; le matériel informatique et le matériel de construction mis à la disposition des enfants et des personnes-ressources. Cette phase se rapporte simultanément à l'investigation et la découverte, par les enfants, du mécanisme des objets reproduits ou créés par eux, objets qu'ils animent à l'aide de l'ordinateur ou des piles.

Les enfants ont exploré petit à petit la reproduction miniaturisée d'objets divers (perçeuse, malaxeur, motocyclette...), la progression du mouvement manuel au mouvement mécanique, le rôle des engrenages dans la provocation de mouvement. Ils émettent des hypothèses à partir de leurs réflexions sur les problèmes mécaniques reliés à la manipulation et l'exploration des mécanismes Lego créés et automatisés par eux et sur les phénomènes mécaniques provocateurs du mouvement en relation à leur réalité quotidienne.

b) PHASE 2: L'expérimentation: (du 21 septembre au 16 décembre 1988, comprenant 2 séries d'ateliers).

> Tu découvres autre chose que les Lego que tu as toujours connu...
> Tu découvres le mouvement.
> (Émilie, 7 ans)

La dynamique de l'EPI évolue vers une phase d'expérimentation de la robotique, c'est-à-dire une phase d'observation et d'analyse des phénomènes produisant le mouvement. L'EPI s'enracine autour d'un plus grand nombre de pièces techniques, comme l'interrupteur et la cellule photo-électrique, qui ont été introduits à la fin de la première phase, mais ils ont été expérimentés plus systématiquement au cours de la Phase 2. Ces pièces permettent aux enfants l'expérimentation de mécanismes plus sophistiqués et de nouvelles commandes de programmation qui se transposent dans la multiplication d'objets et de mouvements mécanisés. Les quelques enfants participants des ateliers précédents favorisés par le tirage au sort de même que les nouveaux venus vont expérimenter la complexité du mécanisme de l'interrupteur ou de la cellule photo-électrique dans leurs objets. Ils vont imaginer un scénario, c'est-à-dire une multiplication de mouvements et d'objets mécanisés gravitant autour d'un thème (manufacture de papier, tête de personnage coiffé d'un chapeau à hélices).

c) PHASE 3: La simulation: (du 21 janvier au 16 juin 1989, comprenant 3 séries d'ateliers).

> Les constructions ont évolué peut-être parce que les enfants ont vu qu'ils pouvaient se servir quand même de leur imagination...
> (Charlotte, 11 ans)

Cette phase de l'évolution de l'EPI représente la dernière étape de notre projet d'un environnement informatisé axé sur la robotique. Au

cours de cette période les enfants feignent à l'aide de l'ordinateur des mouvements de marche, de déambulement ou de danse de personnages réalistes; ils font paraître comme réel des sentiments qu'ils transposent dans la mobilité de mouvements coordonnés prenant l'aspect de personnages comme des robots ou des chiens mécaniques; ils reproduisent l'animation d'une piste d'atterrissage, d'une gare, d'un parc d'amusement ou d'un petit quartier. Tous ces mouvements simulés sont provoqués parfois par l'utilisation de l'interrupteur mais surtout par l'usage plus constant de la cellule photo-électrique. Le son que les enfants insèrent dans leur programme intensifie davantage ces activités de simulation.

Leurs objets automatisés deviennent des supports de situations imaginées ou imaginaires. L'ordinateur était l'outil de vérification et le contrôleur de la coordination mécanique du scénario simulé.

5. Discussion

Lorsque nous analysons l'évolution de l'EPI nous constatons qu'il s'est constamment transformé tant au niveau des apprentissages qui s'y sont faits qu'au niveau de son déroulement, englobant en même temps nos questions de recherche. Après avoir témoigné de l'évolution de l'EPI, que nous avons rassemblée sous trois phases, et de sa signification, revoyons nos questions de recherche.

1) À propos de la motivation des enfants dans le choix ou le refus de participer à l'activité de robotique:

Au début du projet (soit pour la première série d'ateliers) l'intérêt déjà présent des enfants de l'école pour les jeux de construction les motive à s'inscrire aux ateliers de robotique. Par la suite ils s'y inscrivent pour se donner de nouveaux défis, par curiosité ou par effet d'entraînement suscité par des enfants utilisateurs des ateliers précédents ou désireux de former une équipe si le tirage au sort les favorise. Les réunions quotidiennes et les présentations des objets mécanisés à la fin de chaque série d'ateliers sont également responsables du désir des enfants à s'inscrire à l'activité de robotique. Le coin robotique étant

intégré à l'intérieur de la classe, l'activité d'initiation à la robotique est devenu alors un espace dynamique d'informations visuelles et auditives.

Dans les enfants qui refusaient de participer aux ateliers de robotique ou qui hésitaient à officialiser leur inscription. Il y avait ceux qui se faisaient d'abord des observateurs attentifs de la dynamique des ateliers de robotique. Par la suite ils proposaient leur nom. Il y avait des enfants qui déclaraient ne pas aimer programmer, reliant l'activité de programmation à celle de l'écriture. C'étaient parfois des enfants qui n'aimaient pas construire à l'aide des Lego. Par contre ils étaient souvent des utilisateurs de l'atelier de menuiserie et des créateurs de bricolages (dessins, maquettes, modelage...).

2) La conséquence de la manipulation ou de la fabrication d'objets concrets sur l'acquisition de concepts abstraits:

Des concepts abstraits comme la force, la résistance et la puissance faisaient partie des expériences quotidiennes de créativité et de construction dans l'environnement. Plus particulièrement, les enfants ont pris conscience et ont concrétisé le rôle de l'électricité dans l'utilisation des petites pièces techniques comme l'interrupteur et la cellule photo-électrique et des conséquences d'un ralentisseur sur la mobilité d'un objet muni d'engrenages. Ils ont compris la relation entre l'objet mécanique à faire mouvoir et l'ordinateur en programmant en langage LOGO.

3) L'apport d'une activité axée sur la robotique sur l'apprentissage de connaissances et le développement de la pensée scientifique:

La pensée scientifique, qui s'est développée chez les enfants au cours du projet, s'est formulée dans leur démarche à explorer et à comprendre des mécanismes physiques (le mouvement, l'électricité, les fréquences du son, l'intensité de la lumière...), à agir sur eux à l'aide de l'ordinateur et à en contrôler les différentes réactions. La démarche des enfants s'inscrit alors dans les différents essais qu'ils exécutent (en testant leur objet mécanique à l'aide des piles ou de l'ordinateur, en se créant des programmes, en éxécutant les commandes de programmation de

base); dans la formulation de leurs hypothèses, leurs évaluations, leurs jugements sur les résultats de leurs essais; et dans le recommencement de leurs essais qui les amenent à apporter des changements et ajustements à leurs constructions ou à leurs programmes.

4) Le rôle des interactions enfants/enfants et enfants/adultes en relation avec l'animation et le déroulement de l'EPI:

Les interactions entre les enfants prenaient la forme de critiques d'enfants vis-à-vis d'autres enfants à l'intérieur des ateliers et au cours des réunions quotidiennes, sur le peu de défis qu'un enfant s'imposait dans l'exploration de la complexité du mouvement, sur l'amélioration de la performance à apporter dans un mécanisme ou sur des attitudes de dépendance que certains enfants développaient auprès de l'animateur. Ces critiques ont provoqué le partage des connaissances et des expériences au niveau de la programmation et de la construction amenant les enfants à initier d'autres enfants, et la formation de duos ou de trios de travail créant une dynamique au niveau de l'envergure des constructions mécanisées.

La relation entre les enfants et les adultes se situe d'abord entre les enfants et l'animateur. Ils le percevaient comme celui qui les guide dans leurs découvertes et dans le renouvellement de leurs connaissances sans toutefois dépendre de lui. C'était avec cette perception qu'ils interagissaient avec l'animateur activant l'évolution de l'EPI dans une atmosphère de recherche. Par contre, les éducatrices en participant aux ateliers de robotique étaient considérées comme des pairs, parce qu'elles se faisaient initier au même titre que les enfants.

5) Les différences et similitudes entre les filles et les garçons dans leur implication ou leur dérobade à vouloir participer aux activités de robotique:

Il est intéressant de noter que dès le début du projet, la liste des enfants intéressés comportait un nombre à peu près égal de filles et de garçons. Néamoins, on a pu constater des différences dans leurs

utilisation de la robotique pédagogique. La démarcation entre le type de constructions exécutées par les filles et les garçons étaient plus marquée au début du projet. Les garçons fabriquaient des véhicules diversifiés comme des camions, des voitures, des hélicoptères, des tracteurs; les filles construisaient plus d'objets se référant à leur quotidien (malaxeur, perçeuse, tondeuse...). Cette démarcation peut possiblement s'expliquer par les différences dans les types de jouets que les filles et les garçons ont traditionellement dans notre société. Les garçons, ayant plus tendance à jouer avec des objets mécanisés, les transposent dans leur exploration initiale de la robotique. Les filles, par contre, semblent prendre comme point de référence plutôt des objets faisant partie de leur environnement immédiat. Après l'exploration initiale, et lorsque le matériel de construction fut complet, les filles comme les garçons se sont mis à construire des mises en scène de mouvements mécanisés. Les mises en scène étaient caractérisées par des personnages mécanisés (chien, robot, homme) et des contextes réalistes (piste d'atterissage, gare, quartier de ville) fonctionnant en coordination, avec une histoire.

6. Un EPI: une définition qui s'intègre

Lorsqu'au mois d'août 1987 nous avions soumis le projet de développer un environnement pédagogique informatisé (EPI) centré sur la robotique pédagogique, nous en avions personnalisé la définition en nous référant aux expériences informatiques acquises par l'école Jonathan depuis 1983:

> ...un milieu où l'utilisation de l'ordinateur permet soit des apprentissages en ouvrant de nouveaux mondes de connaissances (la robotique par exemple), en facilitant la compréhension de certains concepts (à l'aide de la simulation) ou en élargissant les sources d'information (par l'utilisation des banques de données); soit le développement de nouveaux modes d'expressions (le dessin animé assisté par ordinateur) et de communication (la télématique) ou leur simplification (le traitement de texte).
> (Rinfret,1987)

Après un an et demi d'expérimentation cette définition s'anime dans un espace se fondant à l'intérieur d'une classe. Un espace-coin qui est en soi un aménagement s'étant modifié au cours de l'évolution du projet et qui existe en relation avec l'animation qui s'y crée, les outils informatiques et le matériel Lego.

> L'ordinateur est considéré comme tout le reste dans l'école, c'est du matériel. Ce n'est pas une récompense, on ne lui a pas donné de statut particulier, il est implanté.
> (Éducatrice)

7. Conclusion

Dans l'EPI-robotique, les enfants ne se voient pas confiner seulement devant un écran; ils ont exploré, expérimenté et simulé le prolongement de l'action de l'ordinateur (c'est-à-dire le mouvement) sur des objets et des structures mécanisées, à l'aide de la programmation. Les informations que les enfants ont transmises à l'ordinateur se sont projetées dans des réactions mécaniques sous l'aspect de la troisième dimension. Ainsi le mouvement a pris forme dans les objets construits, reproduits ou imaginés par eux. Ils les ont fait se mouvoir dans l'espace tout en s'activant autour pour observer et constater sous plusieurs angles l'expertise de vérifications et d'améliorations qui pourraient s'imposer. La caractéristique qui ressort d'une telle expérience réside dans le fait que, dans un processus d'apprentissage centré sur la robotique, le rôle des enfants est devenu actif.

Bibliographie

BARFURTH, M.A. (1988). "Les projets externes de la Vitrine 2001". In **Le Bus**, 6 (1), pp. 77-78.

HAREL, I. (Ed.) (1990). **Constructionist Learning**. Cambridge, MA: MIT Media Laboratory.

POSTIC, M. et DE KETELE, J.-M. (1988). **Observer les situations éducatives**. Paris: PUF.

RINFRET, A. (1987). **Développement d'un EPI centré sur la robotique, document de travail**. Montréal: APO QUÉBEC.

TRUDEL, H. (1990). **Un EPI axé sur la robotique**. Montréal: APO QUÉBEC.

WINER, L.R. (1988) "Research on Computer-Based Learning Environments: The Vitrine 2001". **Canadian Journal of Educational Communication**, 17 (3), pp. 157-163.

WINER, L.R. et TREMBLAY, P.S. (1988). "La Vitrine 2001: En APO, un milieu de recherche pour, avec et sur les enfants". In J-Y. Lescop (Ed.), **Technologie et Communication Éducatives**, pp. 445-458. Sainte-Foy, Québec: Télé-Université.

UN THÉATRE ROBOTISÉ DE MARIONNETTES, CONSTRUIT ET PROGRAMMÉ PAR LES ÉLÈVES À L'AIDE DU LANGAGE ANDROIDE.

Jean-Baptiste LA PALME
Département Mathématiques et Informatique
Université du Québec à Montréal

Maurice BÉLANGER
CIRADE
Université du Québec à Montréal

Résumé

Dans une école de Montréal, des élèves de 13 à 17 ans, ont construit, sous la direction d'une équipe de chercheurs de l'UQAM, un théâtre robotisé de marionnettes, dont tous les éléments sont contrôlés par ordinateur: les décors, le rideau, l'éclairage, les personnages et le son. Par la suite, à l'aide du Langage Androide, les élèves ont construit un langage d'application de forme naturelle qui permet à des néophytes de contrôler et même de programmer le théâtre robotisé. Cette expérimentation a mis en cause plusieurs niveaux d'apprentissage. Au départ, les élèves ont été confrontés à des problèmes concrets d'ordre mécanique, électrique et informatique. Par la suite, ils ont eu à trouver un compromis entre les exigences des arts plastiques et les contraintes robotiques. Enfin, ils ont été appelés à explorer le contenu sémantique et le contenu syntaxique du langage d'application qu'ils désiraient créer.

Abstract

In a school in Montreal, students aged 13 to 17, were involved in the design, building and control of a puppet theatre, under the supervision of researchers from UQAM, in wich all the basic components were controlled by computer: curtain, scenic panels, lights, puppets and sound.

Furthermore, students utilised the Androïd Language in the construction of a natural application language in order to allow other students to control and program the theatre, without knowing the details of its construction. Many levels of learning were involved in this experimentation. First, students were confronted with mechanical, electrical, and computer sciences problems. Next, they had to find a compromise between creative arts and robotics constraints. Last, they had to explore the semantics and syntax of the application langage they wanted to create.

1.- Introduction

Quelles matières académiques sont impliquées en robotique éducative? La robotique éducative peut-elle fournir des outils d'apprentissage en sciences, informatique et éducation technologique? Peut-elle fournir des outils d'apprentissage ailleurs que dans ces matières? La robotique éducative peut-elle favoriser l'intégration des matières? Ces questions étaient présentes à notre esprit lorsque nous avons entrepris l'expérimentation décrite dans cet article, mais nous cherchions d'abord la réponse aux questions suivantes: l'approche dynamique du langage naturel peut-elle être utilisée en robotique éducative, et le parallélisme permet-il une interaction plus aisée entre l'enfant et l'ordinateur, en robotique éducative.

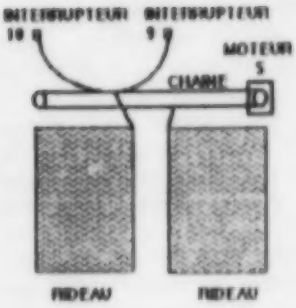
2.- Le projet

La première étape de notre expérimentation a consisté à initier à la robotique éducative plusieurs élèves de 13 à 17 ans dans une école de la région de Montréal. Un local avait été dédié au projet pour servir de laboratoire et lieu d'expérimentation, dans le cadre d'une entente UQAM-CECM. Le matériel consistait des principaux ensembles de construction robotique disponibles sur le marché: Robotix, Fischer-Technik, Lego et Radio-Shack. L'interface robotique Caméléon avait été construit à la demande de notre équipe de recherche pour fonctionnner sur des micro-ordinateurs Apple. Le langage robotique utilisé était le Langage Androïde, développé par Jean-Baptiste La Palme[1]. Durant cette première étape qui a

duré un an, plusieurs projets ont été réalisés: une grue contrôlée par des compteurs, un véhicule attiré par la lumière, etc. Dans la deuxième étape de notre expérimentation, nous avons proposé à ces mêmes élèves, la construction et la programmation d'un théâtre robotisé de marionnettes. Le but de ce théâtre était double: d'abord, fournir à ces élèves un cadre dans lequel ils auraient à résoudre des problèmes reliés à la mécanique, l'électricité, l'informatique en tenant compte de contraintes souvent absentes des matières académiques telles que la résistance des matériaux, la friction, la fiabilité des mécanismes et l'aisance d'utilisation; le deuxième but du théâtre était de donner à d'autres élèves un outil robotique utilisable sans connaissances préalables, qui leur permettrait de créer une pièce de théâtre complète: de l'écriture du texte, jusqu'à la scénarisation, en passant par la conception et la création des décors et des costumes. L'étape de la construction et de la programmation du théâtre a duré une année. Plusieurs prototypes ont été construits par les élèves, et certains de ceux-là étaient fonctionnels. Nous vous présenterons ici, le résultat final de leur travail. Ce résultat est en lui même une indication du niveau atteint par les élèves et des moyens mis à leur disposition.

3.- La mécanique

Le plus gros problème d'ordre mécanique que les élèves ont rencontré a été la conception du mécanisme des rideaux et des décors. Outre le fait que les matériaux devaient être choisis en fonction de la force des moteurs et de la rapidité souhaitée[2], il y avait chez les élèves une tendance à la multiplication des groupes-moteur. Par exemple, ce n'est qu'après de nombreuses esquisses que les élèves ont trouvé avec notre aide qu'un seul moteur pouvait ouvrir les deux parties du rideau qui se déplacent en sens contraire.




```
OBJET RIDEAU
DEF OUVRE  POSITIF 5
      JUSQU'A IN  TERRUPTEUR 9
       NUL 5   FIN
DEF FERME  NEGATIF 5
      JUSQU'A INTERRUPTEUR 10
      NUL 5   FIN
```

Figure 1

Dès que les élèves ont essayé de contrôler l'ouverture et la fermeture du rideau par l'intermédiaire de l'ordinateur, ils se sont rendus compte que le temps d'ouverture n'est pas égal au temps de fermeture, et que ces temps varient d'une fois à l'autre. Ne pouvant donc utiliser le temps comme outil de contrôle, ils se sont tournés vers d'autres types de rétroaction (feed-back), en l'occurrence, des interrupteurs dont l'état est vérifié à l'intérieur de boucles. Dans le cas présent, la primitive JUSQU'A du Langage Androïde est utilisée pour causer l'interruption de la boucle dès que l'interrupteur est pressé i.e dès que le rideau atteint l'une des extrémités.

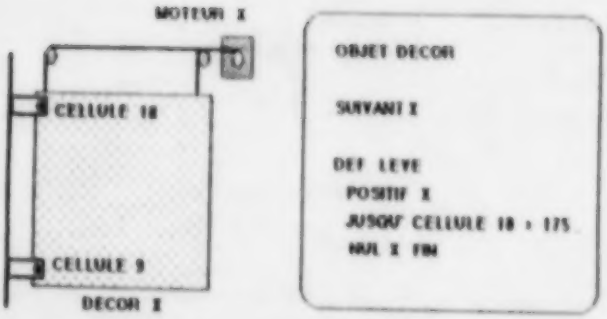
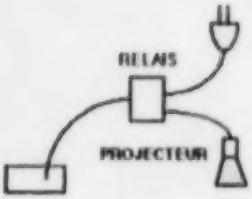


Figure 2

La tendance à la multiplication des éléments dont il a été question plus haut, s'est révélée de nouveau au moment de la conception du mécanisme de contrôle des décors. Puisqu'il devait y avoir quatre décors mécaniquement interchangeables, les élèves ont tout d'abord décidé de placer pour chacun des décors, un interrupteur en haut et un interrupteur en bas. Étant donné la complexité de la tâche, ils ont cheminé vers la solution indiquée dans la figure 2. Ce schéma révèle que la cellule photo-électrique du haut indique si l'un ou l'autre des décors a atteint sa limite supérieure, et la cellule photo-électrique du bas, sa limite inférieure. Une seule restriction: une décor ne peut être levé pendant qu'un autre est baissé.

4.- L'électricité

Les problèmes reliés à l'électricité sont apparus au niveau de l'éclairage, car les sorties de l'interface robotique sont limitées à 5V. Les élèves ont dû faire appel à une technologie nouvelle pour eux: la création de circuits avec relais. Ces activités ont été l'occasion d'explorer les principes de base de l'électronique et des circuits électriques. Voir la figure 3.

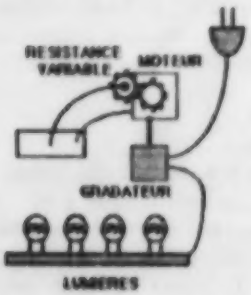



```
SUIVANT X
DEF ALLUME POSITIF X FIN

SUIVANT X
DEF ETEINT NUL X FIN

DEF VERT 14 FIN
DEF JAUNE 13 FIN

INSIGNIFIANT PROJECTEUR
```

Figure 3

Pour avoir un contrôle plus raffiné sur l'éclairage, les élèves ont eu recours à un gradateur d'intensité de type domestique qui leur permet de varier l'intensité de quelques lumières blanches. Ce gradateur est mû par un moteur. Une résistance variable compatible avec l'interface prend une valeur proportionnelle à la rotation de l'axe du moteur, indiquant à l'ordinateur la position de celui-ci.

Dans la figure 4, on peut voir la définition du mot MATIN, qui suppose la définition préalable du mot INTENSITÉ. L'exécution du mot MATIN dure environ 2 minutes, durant lesquelles, on peut imaginer la levée du jour en accéléré: le bleu de la nuit est graduellement remplacé par la lumière blanche du jour.




```
DEF NUIT INTENSITE 87 FIN
DEF JOUR INTENSITE 5 FIN

DEF MATIN C'EST LA NUIT
   ALLUME LE PROJECTEUR BLEU
   ETEINT LE PROJECTEUR JAUNE
   REPETE 30, INTENSITE (85 -1* 2)
   ATTENDS 3 SEC FIN
```

Figure 4

5.- L'informatique

On peut voir dans la figure 5, la morphologie des marionnettes et de leur mécanisme de contrôle. Du point de vue mécanique et contrôle robotique, les solutions retenues s'apparentent à celles déjà explicitées.

Cependant, plusieurs problèmes nouveaux d'ordre informatique surgirent, lorsque les élèves ont commencé à programmer les marionnettes. En effet, c'est une condition élémentaire d'une pièce de théâtre que les divers mouvements puissent être composés: les personnages peuvent bouger simultanément et un personnage peut bouger simultanément plusieurs parties de son corps.

Si le but de l'exercice n'avait été que de créer une seule pièce de théâtre, les différents mouvements composés auraient pu être programmés individuellement. Mais comme le but de cette activité était de créer un environnement grâce auquel des élèves novices pourraient composer des scénarios, les élèves ont eu recours à une particularité du Langage Androide: **le parallélisme à processeur unique**[3].

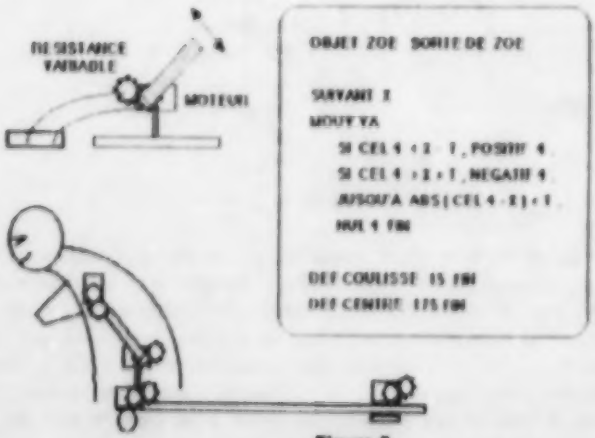


Figure 5

En effet, il est possible dans ce langage de faire exécuter des mouvements déjà définis d'une façon séquentielle ou simultanée, même si ces mouvements comprennent eux-mêmes des mouvements séquentiels ou simultanés. On comprend donc qu'il est possible avec ce langage de définir simplement des mouvements d'une grande complexité qui auraient constitué dans un autre contexte un obstacle insurmontable pour les élèves.

La tâche des élèves qui construisaient le théâtre se limitait donc à créer des mouvements élémentaires que d'autres élèves n'auraient qu'à utiliser comme autant de blocs dans la construction d'un scénario.

6.- Les communications

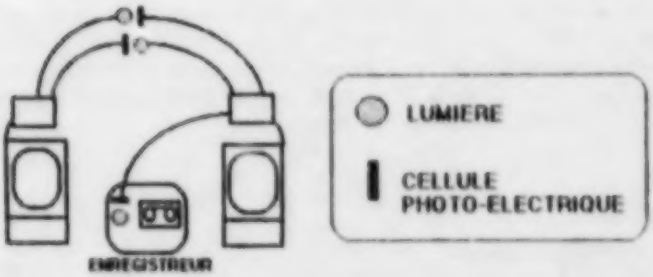


Figure 6

Pour faire comprendre l'ampleur de la tâche à laquelle ces élèves se sont attaqués, il est nécessaire de préciser que le contrôle du théâtre qu'ils ont construit nécessite deux micro-ordinateurs, chacun équipé de deux interfaces robotiques. Ces deux micro-ordinateurs communiquent entre eux grâce à la lumière, par l'intermédiaire de deux cellules photo-électriques (Voir figure 6). Par ailleurs, l'ordinateur assure la synchronisation du son et des marionnettes grâce à un procédé similaire à la synchronisation du son avec les diapositives.

7.- Les arts

Les élèves qui ont créé les costumes, les décors et les rideaux à l'intérieur des cours d'arts plastiques, ont rencontré des problèmes auxquels ils ne s'attendaient pas: une tête de marionnette trop lourde qui affecte l'équilibre de la marionnette, un costume qui restreint l'enveloppe des mouvements possibles de la marionnette, un rideau dont le bas ne suit pas le haut, un panneau du décor qui gondole lorsque la peinture sèche, un décor qui vole la vedette aux marionnettes, etc.

Mais c'est sans doute le chemin critique de la réalisation de ce type de projet qui risque de représenter dans la plupart des cas, le problème majeur. En effet, si l'on désire faire construire le théâtre et faire réaliser une pièce dans un court laps de temps, il faudra tout de même s'assurer que la pièce soit écrite et corrigée, avant de commencer la création des éléments artistiques du théâtre.

8.- Les lettres

Les élèves avaient été placés dans la situation suivante: une fois que le théâtre aurait été construit, une fois que le langage d'application permettant de contrôler le théâtre aurait été créé, les élèves céderaient leur place à d'autres élèves, néophytes en robotique, qui auraient le mandat de mettre en scène une pièce de théâtre de marionnettes.

Par conséquent, à chaque fois que la construction d'une partie du théâtre était terminée, les élèves se posaient la question suivante: quelles phrases nous viendraient naturellement à l'esprit pour commander ou décrire l'action de cette partie de théâtre. Par la suite, à l'aide du Langage Androïde, ils essayaient de créer les éléments sémantiques et syntaxiques qui permettraient aux autres élèves d'utiliser ces phrases[4]. Par exemple, lorsque les marionnettes eurent été construites, les élèves ont imaginé les phrases suivantes: (Ramon et Zoé sont les noms des marionnettes).

RAMON VA AU CENTRE
ZOÉ VA EN COULISSE
RAMON TOURNE A GAUCHE
ZOÉ TOURNE FACE AU PUBLIC

Dans ces phrases, les mots VA et TOURNE ne peuvent pas être définis de la même manière, selon qu'il se rapportent à Ramon ou à Zoé. Puisque le Langage Androïde permet la création d'un **réseau sémantique**, les élèves ont créé l'**objet** Ramon et l'**objet** Zoé. (Voir figure 5). Pour chaque objet, ils ont défini le mot VA et le mot TOURNE. De la même façon, pour chaque objet, ils ont défini les valeurs des résistances variables correspondant à COULISSE et à CENTRE. Pour que les mots FACE AU PUBLIC soient compris par l'ordinateur, le Langage Androïde donne à l'élève deux choix: ou bien il transforme les mots FACE AU PUBLIC en expression consacrée à laquelle il donne une valeur, ou bien il donne une valeur à PUBLIC et fait de FACE un mot dit "insignifiant", c'est-à-dire un mot qui sera ignoré par l'interpréteur. La dernière partie de l'alternative fut choisie par les élèves.

Ainsi un élève pourrait écrire la phrase: SIMULTANÉMENT RAMON VA EN COULISSE, ZOÉ TOURNE FACE AU PUBLIC. Par ailleurs, puisque l'interaction entre un robot, tel le théâtre, et un élève se déroule généralement selon un mode impératif ou un mode descriptif, les élèves doivent prévoir deux formes pour un même énoncé:

ALLUME LE PROJECTEUR JAUNE
LE PROJECTEUR JAUNE S'ALLUME

Comme on le voit, l'argument "LE PROJECTEUR JAUNE" se situe parfois avant, parfois après l'action D'ALLUMER. Pour prévoir ces deux cas, les élèves ont utilisé les primitives syntaxiques SUIVANT et PRÉCÉDENT du Langage Androïde. Par exemple, dans la figure 3 ont peut constater que les mots "SUIVANT X" permettent de définir la forme impérative de l'énoncé. Remarquons, dans cette figure, que les élèves ont choisi de ne pas faire de PROJECTEUR un objet, puisque ALLUME et ÉTEINT ne s'appliquent pas à d'autres éléments du théâtre.

Le résultat du travail des élèves a été de créer un **langage d'application** permettant à des novices d'apprendre en quelques minutes à contrôler le théâtre. Nous ne savons pas encore quelle est la proportion de phrases correctes un néophyte pourrait créer compte tenu d'un temps d'apprentissage donné. Nous avons cependant des indications sur le taux de

rétention d'un tel langage d'application qui suggèrent qu'après un très bref apprentissage initial, le langage ne représentera plus un problème dans la réalisation du scénario et de la pièce, même si le projet s'échelonne sur plusieurs années.

9.- Le théâtre

L'ensemble des éléments furent assemblés dans un meuble qui peut se déplacer à l'intérieur de l'école et qui comprend deux micro-ordinateurs, les écrans vidéo, un enregistreur à diapositives, les générateurs de puissance, les cartes d'interface, un théâtre de marionnettes en bois, ainsi que les différents éléments décrits plus haut. (Voir figure 7).

Le théâtre est maintenant prêt pour un autre cycle de vie, pendant lequel il servira des buts pédagogiques différents, plus reliés aux sciences humaines. Ce théâtre, avec ses marionnettes et son langage d'application constitue aussi un nouveau moyen de communication qui peut être utilisé par les élèves ou les enseignants comme un moyen alternatif de passer différents messages ou être utilisé par les handicapés comme moyen d'expression.

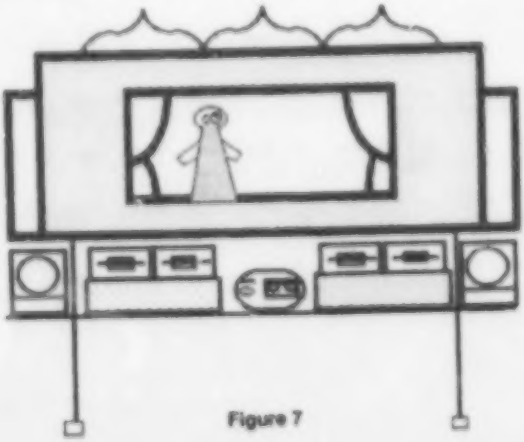


Figure 7

10.- Conclusion

Bien que certaines des activités reliées à ce projet ont eu lieu dans un cadre parascolaire, nous pouvons déjà entrevoir une intégration totale de ce projet à **l'intérieur des activités scolaires**.

La construction des éléments électro-mécaniques peut très bien s'intégrer à un cours d'initiation à la technologie. Les costumes et les décors ont été faits dans le cours d'art plastiques. Le texte de la pièce a été écrit dans un cours de français. La mise en scène est prévue comme projet de session dans un cours d'informatique.

Ce n'est que lorsque le projet sera complètement intégré aux activités normales qu'il sera possible d'en mesurer l'impact sur les apprentissages. Entre temps, nous constatons que le projet aura servi à rendre accessible à l'école des outils d'exploration qui reflètent l'évolution actuelle de la société.

Notes

1 - LA PALME, Jean-Baptiste et BÉLANGER, Maurice (1990). **Introduction à la robotique éducative avec le Langage Androïde**. Éditions Micro-Éduc, Montréal.

2 - LA PALME, Jean-Baptiste et BÉLANGER, Maurice (1990). **The Android Language for Educational Robotics.** ECOO, Toronto.

3 - BLUME, C., JAKOB, W. (1983). **Programming Langages for Industrial Robots.** Springer-Verlag, N.Y.

4 - WINOGRAD, Terry (1983). **Language as a Cognitive Process**. Addisson-Wesley, Reading, Mass.

GESTION D'UN PROJET DE ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE AU PREMIER CYCLE DU SECONDAIRE

Louise LECOMPTE
François MOQUIN
École Gustave Desjardins
En collaboration avec le Laboratoire de robotique pédagogique
Université de Montréal

1. Problème

Nous avions constaté, depuis de nombreuses années, un vide informatique évident au premier cycle du secondaire.

Cependant, allergiques à toute démarche strictement algorithmique, nous cherchions un projet susceptible de placer l'élève dans un micro-monde technologique, de sorte qu'il soit en mesure d'entreprendre [illegible] processus de résolution de problèmes.

La solution nous a été suggérée par le Laboratoire de robotique pédagogique de l'Université de Montréal. Donc, loin de nous l'idée de réclamer à notre profit l'aspect innovateur du projet.

Nous croyons, par contre, pouvoir vous communiquer les différentes modalités d'implantation de cette nouvelle technologie ainsi qu'une évaluation des résultats obtenus à ce jour.

2. Contexte pédagogique

En juin 1988, suite à l'ouverture des projets pédagogiques, nous faisons parvenir à la Commission scolaire régionale Blainville Deux-Montagnes celui de l'école Gustave Desjardins, qualifié alors de "timide et restreint dans le temps".

Ce projet présentait un cadre très large d'intervention et des types de projets à caractères multiples.

Après un stage intensif à l'Institut national Northern Télécom, nous décidions de restreindre notre intervention pédagogique à l'implantation de la robotique pédagogique à notre école. Selon Monsieur Pierre Nonnon, (Département de didactique de l'Université de Montréal), la robotique pédagogique est "une utilisation pédagogique du contrôle de processus physique pour faciliter les acquisitions de base en sciences et en technologie".

À nos objectifs initiaux qui étaient de:

- Permettre à nos élèves motivés d'exploiter leurs talents à l'intérieur de différentes projets à moyen et à long terme.
- Créer des liens entre les différentes disciplines.
- Développer au maximum les techniques d'organisation de travail individuel et de groupe.
- Assurer un développement de l'autonomie.
- Introduire l'informatique comme outil de travail.
- Favoriser le travail d'équipe avec les enseignants dans l'émergence des projets.

s'ajoutaient donc certains objectifs plus spécifiques:

- Développer chez nos jeunes l'éducation technologique.
- Exploiter une nouvelle pédagogie des sciences expérimentales.

Dans la brève présentation qui suit, nous espérons montrer que nos élèves ont véritablement vécu une activité d'enrichissement et mettre en relief l'incidence d'un tel projet sur le travail académique, le changement de perception du moi et l'apprivoisement vérifiable de nos jeunes à cette nouvelle technologie.

Nous espérons que ces quelques précisions sur notre démarche et les résultats obtenus pourront inciter et aider d'autres professeurs ou animateur à tenter d'instaurer ce type d'environnement dans leur école.

3. Description du projet

Il s'agissait pour une équipe (2 élèves) de concevoir, de construire, d'animer électriquement puis par ordinateur un manège. Ces différentes étapes pourraient s'appliquer à d'autres objets technologiques.

De plus, chaque équipe devait programmer un court logiciel de présentation de leur appareil.

Cette approche amusante et concrète d'un objet technologique permettait à nos élèves de s'engager dans un processus de résolution de problèmes et de développer une méthodologie du travail scientifique.

Ces différents manèges furent par la suite regroupés et présentés lors d'une exposition intitulée "La Grande Foire" qui eut lieu le 15 juin 1989.

Cette finalité collective du projet qui nous est apparue des plus formatrice au niveau social, nous a par contre obligé à une gestion et une animation tout à fait différente de celle des projets de notre Club de Sciences et de Technologie.

4. Phases du projet

4.1- Communautaire:
- 4.1.1- Plan d'ensemble.
- 4.1.2- "Brainstorming" sur les différents manèges possibles.
- 4.1.3- Attribution "démocratique" des différents manèges à construire.
- 4.1.4- Échéancier.

4.2- Équipe:
- 4.2.1- Conception technique.
  - 4.2.1.1- Élaboration et dessin du plan.
  - 4.2.1.2- Évaluation des matériaux disponibles.
  - 4.2.1.3- Expertise de la viabilité du projet avec les animateurs.

4.2.2- Construction.

4.2.2.1- Manuelle.

4.2.2.2- Électrique.

4.2.3- Programmation du logiciel de présentation.

4.2.4- Programmation de l'animation.

4.3- Communautaire:

4.3.1- Construction de la maquette générale.

4.3.2- Mise en commun et finalisation des programmes d'animation.

4.3.3- Implication artistique des élèves du cours d'arts plastiques.

4.3.4- Évaluation du projet.

5. Habilités développées

- Logiques	(élaboration du plan) (programmation)
- Manuelles	(construction des structures) (montage électrique)
- Créativité	(construction) (programmation)
- Communication	(orale: présentation) (écrite: logiciel)
- Esprit critique	(viabilité du projet) (programmation: limites, possibilités)

6. Matières académiques intégrées:

- Mathématiques:	- Résolution de problèmes - Géométrie (plan cartésien)
- Français oral et écrit:	- Communication orale - Logiciel de présentation
- Sciences:	- Résolution de problèmes - Méthode de travail

- Les arts plastiques : - Habiletés manuelles
  - Créativité

N.B. Des élèves du cours d'arts plastiques se sont impliqués lors de la conception de la maquette finale.

7. Ressources humaines, matérielles et spatiales

7.1- Humaines :

7.1.1- Louise Lecompte (enseignante à Gustave Desjardins) libérée de 8 périodes pour l'animation du projet.
7.1.2- François Moquin (enseignant à Gustave Desjardins) libéré sur la tâche éducative complémentaire.
7.1.3- Hugho Cialdella (enseignant à Gustave Desjardins) libéré sur la tâche éducative complémentaire.

N.B. Aucun de ces enseignants n'avaient de connaissances de programmation en logo.

- La collaboration des membres du Laboratoire de robotique pédagogique de l'Université de Montréal (Département de didactique).

7.1.4- Pierre Nonnon, responsable du Laboratoire de robotique pédagogique
7.1.5- Marthe Langlois, assistante de recherche

- La collaboration de l'Institut d'Ordinique et d'Ordisport du Canada.

7.1.6- Banque d'étudiants et d'un enseignant de l'Institut d'Ordinique prêts à s'impliquer comme personnes ressources.
7.1.7- Camp d'un jour à Ordisport du Canada.

7.2- Matériel:

Ordinateurs: Franklin (archaïques et presque inutilisables pour nos besoins)
Apple II (peu utilisables)
Apple IIE (empruntés ou échangés)
Appareils prêtés par l'Université de Montréal, la P.D.M. et la P.S.E.
I.B.M. PC compatibles (de notre école et d'ailleurs)

Logiciels: Apple Logo
Logo Writer Apple
Logo Writer I.B.M.

Interfaces: Prêtées par l'Université de Montréal

Budget d'opération: 1 000$

7.3- Local:

Pour l'étape construction les élèves concernés utilisaient sur l'heure du dîner le laboratoire d'écologie. Par la suite nous avons annexé un petit local équipé:
a) d'une série de tablettes ajustables;
b) d'une étagère pour les outils;
c) d'une table et d'un ordinateur supplémentaire.

De plus, les élèves avaient accès au laboratoire d'informatique pendant leurs deux périodes d'étude.

8. Clientèle

Cinquante (50) élèves se sont inscrits au projet. De ce nombre nous en avons sélectionné 30 en évitant comme unique critère de sélection la performance académique sauf pour certains d'entre eux.

En effet, l'activité d'enrichissement s'effectuait aux mêmes périodes que la récupération de français et de mathématiques.

Nous avons dû éliminer certains élèves ou conclure pour certains autres des accords avec les enseignants concernés et l'orthopédagogue.

Nous tenons à mentionner l'immense ouverture du milieu lors des dites négociations.

Il est intéressant de noter:

- que le projet a suscité autant d'intérêt chez les filles que chez les garçons,
- que le projet a rejoint autant les élèves à problèmes que les élèves performants,
- que parmi les élèves sélectionnés certains:
  a) n'avaient jamais utilisé l'ordinateur,
  b) n'avaient jamais programmé en logo,
  c) avaient utilisé le logo en 3e année de l'école primaire mais jamais depuis,
  d) possédaient un ordinateur et parfois le logiciel, mais ne savaient pas quel usage en faire.

9. Évaluation

En tenant compte de certaines situations contraignantes et limitatives:

- date à laquelle le projet fut accepté,
- l'aspect novateur du projet qui a obligé les enseignants animateurs à de longues heures d'initiation,
- la "quincaillerie" informatique dont nous disposons.

Nous pouvons dire que nous avons atteint la grande majorité de nos objectifs pédagogiques.

Nous avons été à la fois surpris des difficultés rencontrées lors de la phase manuelle et de la facilité relative de la phase informatique.

Lors de l'évaluation effectuée avec les élèves concernés, il nous a été reproché:

- l'absence d'une banque de matériel,
- le stress engendré par un échéancier trop concentré.

Comme animateurs, nous nous reprochons que ce même échéancier nous ait empêché d'avoir recours à notre banque de personnes ressources extérieures.

Ayant constaté les immenses possibilités d'enrichissement d'un tel projet, nous avons obtenu sa poursuite cette année.

Niveau(x) d'enseignement: 0 Numéro EDUQ : 9170900
Centre d'intérêt: 640

Congrès international sur la robotique pédagogique (2e : 1990 : Université de Montréal).

Robotique pédagogique : les actes / du IIe Congrès international sur la robotique pédagogique tenu à l'Université du Québec à Montréal en août 1990 ; édités par Pierre Nonnon et Martial Vivet avec la collaboration de Paul D'Amour. -- Montréal : Université de Montréal, Vice-décanat aux études supérieures et à la recherche, [1991?].
361 p. : ill. ; 22 cm. -- (Actes de colloque) -- (Les Publications de la Faculté des sciences de l'éducation)

"La publication de ces actes a été rendue possible grâce à une subvention de APO Québec". Code: AC-004. Comprend des bibliogr.

ISBN 2-020208-70-4

Vedette(s)-secondaire(s): Nonnon, Pierre, éd • Vivet, Martial, éd • Université de Montréal. Vice-décanat aux études supérieures et à la recherche

Descripteur(s): Application pédagogique de l'ordinateur

Identificateur(s) de sujet: Robotique pédagogique • Congrès

Ce document regroupe les textes des 24 conférences prononcées lors de ce congrès. L'allocution d'ouverture prononcée par le docteur Gilles Cloutier met l'accent sur les besoins de développement technologique de notre société et sur la formation scientifique des jeunes. Le comment de cette formation ou son approche didactique en robotique pédagogique est ensuite évoquée en conférence d'ouverture. Les trois premières parties du document comprennent d'abord les conférences prononcées par les praticiens et les enseignants qui ont utilisé des activités de robotique pédagogique avec des élèves des niveaux primaire et secondaire, puis dans le contexte de la formation des adultes ainsi qu'avec des personnes en difficulté d'adaptation. La quatrième partie est consacrée à l'utilisation de la robotique comme outil de laboratoire (Appariteur-Robot) tandis que la partie suivante examine l'impact de la robotique pédagogique sur l'acquisition des fonctions cognitives. Enfin, dans la sixième partie, on propose une analyse et des pistes de réflexion sur la robotique pédagogique et ses applications.

Type de document:

LES PUBLICATIONS DE LA
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'ÉDUCATION

ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE
LES ACTES DU IIe CONGRÈS INTERNATIONAL

ÉDITÉS PAR PIERRE NONNON ET
MARTIAL VIVET
COLLABORATION : PAUL D'AMOUR

Université de Montréal
Faculté des sciences de l'éducation
École des hautes études supérieures et de la recherche

371.9 R00/P11

LES PUBLICATIONS DE LA
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'ÉDUCATION

CENTRE DE DOCUMENTATION COLLÉGIALE
1111, rue Lapierre
LASALLE (Québec)
H8N 2J4

COLLECTION ACTES DE COLLOQUE

ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE
LES ACTES DU IIe CONGRÈS INTERNATIONAL

ÉDITÉS PAR PIERRE NONNON ET
MARTIAL VIVET
COLLABORATION : PAUL D'AMOUR

La publication de ces actes a été rendue possible grâce à une subvention de APO Québec

Dépôt légal : 3e trimestre 1991
ISBN 2-89208-70-x
Bibliothèque nationale du Canada
Bibliothèque nationale du Québec

Université de Montréal
Faculté des sciences de l'éducation
Vice-décanat aux études supérieures et à la recherche

Comité des publications de la Faculté des sciences de l'éducation
André Brassard, président
Alison d'Anglejan, vice-doyenne aux études supérieures et à la recherche
Colette Dufresne-Tassé
Marie-Christine Paret

Secrétaire administrative : D. Rollande Sabourin

Dactylographie et mise en page : Josée Pasquini

Vice-décanat aux études supérieures et à la recherche
Faculté des sciences de l'éducation
Université de Montréal
C.P. 6128, succursale A
Montréal (Québec)
H3C 3J7

Téléphone : (514) 343-5887
Télécopieur : (514) 343-2283

ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE

Les Actes du IIe Congrès international
sur la robotique pédagogique
tenu à l'Université de Montréal
en août 1990.

Édités par PIERRE NONNON et MARTIAL VIVET
avec la collaboration de Paul D'Amour

Président du Congrès

- Pierre Nonnon	Université de Montréal (Québec)

Président du Comité scientifique

- Martial Vivet	Université du Maine (France)

Comité scientifique

- François-Marie Blondel	INRP - Paris (France)
- G.L. Baron	DLC - Ministère de l'éducation (France)
- Marc Baudry	Université du Maine (France)
- Alain Bron	SSPCI - Yverdon (Suisse)
- Pierre Canais	AFPA/CLEO - Nancy (France)
- Alain Chourot	CEGEP Maisonneuve - Montréal (Québec)
- Paul D'Amour	Université du Québec à Hull - Hull (Québec)
- Gilbert De Landsheere	Université de Liège (Belgique)
- Eddy Forte	EPFL - Lausanne (Suisse)
- Dieudonné Leclercq	Université de Liège (Belgique)
- Bertrand Morin	Ministère de l'éducation du Québec
- André Myx	École normale de Lyon (France)
- Jean-Daniel Nicoud	EPFL - Lausanne (Suisse)
- Jacques Perriault	CNED (France)
- Luis Radford	Université San Carlos (Guatémala)
- Christian Rellier	CNAM - Paris (France)
- Enrique Ruiz Velasco Sanchez	UNAM - Université de Mexico (Mexique)
- Roger Tanguy	Université de Paris VIII + MASI (France)
- Martial Vivet	Université du Maine (France)

Comité organisateur

- Alain Chourot	CEGEP Maisonneuve - Montréal (Québec)
- Paul D'Amour	Université du Québec à Hull - Hull (Québec)
- Jean-Pierre Fréchette	APO QUÉBEC
- Marcel Labelle	CECM - Montréal (Québec)
- Jocelyn Mercier	Université du Québec à Hull - Hull (Québec)
- Bertrand Morin	Ministère de l'éducation du Québec
- Pierre Nonnon	Université de Montréal (Québec)
- Normand Pinet	APO QUÉBEC

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos 7
D'AMOUR Paul

Allocution d'accueil 9
M. Gilles G. CLOUTIER, Recteur de l'Université de Montréal

Conférence d'ouverture 13

"Robotique pédagogique et didactique des sciences"
NONNON Pierre

Première partie: La robotique dans l'enseignement primaire et secondaire 21

"Essai d'enseignement de la technologie à l'école, avec la robotique comme finalité" 23
BOUMATI Françoise

"Une pratique pédagogique en robotique avec des enfants de 11/12 ans" 37
JOLY André

"La robotique intégrée à l'apprentissage et à l'enseignement" 51
NOEL Monique, BERGERON Guy

"Une école à vocation scientifique et technologique" 57
NONNON Pierre, GAGNON Andrée

"Les 3 niveaux d'expertise de C.A.R.E.S." 63
PELCHAT Roger

"La robotique pédagogique dans l'enseignement de la géométrie physique et projective" 75
RUIZ VELASCO SANCHEZ Enrique

"La robotique pédagogique: L'expérience de la découverte" 87
TRUDEL Hélène, WINER Laura R.

"Un théâtre robotisé de marionnettes, construit et programmé par les élèves à l'aide du langage Androïde" 99
LA PALME Jean-Baptiste, BELANGER, Maurice

"Gestion d'un projet de robotique pédagogique au premier cycle du secondaire" 111
LECOMPTE Louise, MOQUIN François

Deuxième partie: La robotique appliquée aux adultes en formation professionnelle 119

"Apprentissage par l'ordinateur des concepts informatiques utilisés dans les systèmes à base de microprocesseurs pour la conduite de procédés ou de robots" 121
BERNARDY André, AUBAN Anne, BOUDIN François

"Enseignement, conception et réalisation d'automatismes séquentiels avec un didacticiel de CAO GRAFCET" 131
DIMA Bruno, MANKA Marc

"La reconversion d'ouvriers spécialisés: un défi pour la micro-robotique pédagogique" 143
PARMENTIER Christophe, VIVET Martial, BRUNEAU Jérôme

"Moteurs! Acteurs!" 165
LE ROCH Marie-France, NOWAK Gérard

"Propositions pour un enseignement des automatismes et de l'initiation à l'informatique industrielle en cours de technologie des classes de collège" 181
TAURIAC Gérard

Troisième partie: La robotique appliquée aux personnes en difficultés d'adaptation 191

"Design and Use of Robotic Manipulators as Cognitive and Physical Aids for Orthopedically Disabled Students" 193
GILBERT Michel, HOWELL Richard

Quatrième partie: La robotique - outil de laboratoire 209

"Quelques remarques pédagogiques et didactiques à propos d'un dispositif informatisé de prise de données" 211
LE TOUZE Jean-Claude, BEAUFILS Daniel

"La mécanique sur coussin d'air avec une table à digitaliser" 223
MEGEL André

"Acquisition et analyse de données expérimentales: Quelle démarche et quels outils?" 237
BEAUFILS Daniel, LE TOUZE Jean-Claude

"Mise en place d'un laboratoire de sciences physiques informatisé pour une classe de 24 élèves de seconde" 249
MARCHAND Daniel

Cinquième partie: La robotique pédagogique pour faciliter l'acquisition des fonctions cognitives et de représentation 261

"Activité avec instrument et formation des connaissances" 263
RABARDEL Pierre

"Student Problem Solving in Constructing and Programming Kit-Built Robotic Devices" 281
BÉLANGER Maurice, LA PALME Jean-Baptiste

Sixième partie: Analyse et réflexions sur la robotique et ses applications 297

"Enseigner et apprendre par la robotique pédagogique: Quelles questions se poser?" 299
CHOMIENNE Martine

"La robotique pédagogique dans la formation professionnelle des travailleurs" 309
SANDOVAL CAVAZOS Jorge

Résumé de la réunion plénière et réflexions sur nos pratiques didactiques en robotique pédagogique 321
DUBREUIL Bernard, Université Concordia

Publications de la Faculté des sciences de l'éducation 345

AVANT-PROPOS

La robotique pédagogique vise principalement l'acquisition d'habiletés générales et de notions scientifiques dans des domaines comme les sciences expérimentales et la technologie. Elle se caractérise par un usage pédagogique de l'ordinateur dans ses fonctions de scrutation d'analyse, de contrôle et de modélisation de différents processus physiques. Les robots pédagogiques peuvent prendre diverses formes allant d'un simple ordinateur contrôlant un objet périphérique jusqu'à l'automate intelligent.

Du 22 au 24 août 1990 le Laboratoire de Robotique Pédagogique de l'Université de Montréal recevait les congressistes du 2ème Congrès International de Robotique Pédagogique sous le thème La robotique: un environnement technologique au service de l'apprentissage. Une centaine de chercheurs, de praticiens de différents pays échangèrent sur les processus d'apprentissage mis en oeuvre en robotique pédagogique. Tous étaient conscients de l'importance de donner une base solide à cette nouvelle discipline de recherche didactique.

Les textes des 24 conférences prononcées avaient été préalablement sélectionnés par un comité scientifique international d'universitaires. Ainsi chaque communication a été confiée à au moins 2 membres du comité pour évaluation avant d'être réexaminée pour acceptation finale par un comité restreint du comité de programme.

L'allocution d'accueil prononcée par le recteur de l'Université de Montréal, le docteur Gilles Cloutier, mis d'emblée l'accent sur les besoins de développement technologique de notre société et sur la formation scientifique des jeunes. Le comment de cette formation scientifique ou son approche didactique en robotique pédagogique a été évoqué par Pierre Nonnon dans la conférence d'ouverture. Celui-ci préconise une approche empirique, quasi sensorialiste, préalable à toute formation scientifique, réhabilitant ainsi le recours systématique au laboratoire.

Dans un premier temps, nous avons voulu donner la parole aux praticiens, aux enseignants qui ont utilisé des activités de robotique pédagogique avec leurs élèves des niveaux primaires et secondaires (première partie), puis nous avons enchainé avec la formation des adultes (deuxième partie), avant d'examiner une application avec des personnes en difficulté d'adaptation (troisième partie).

La quatrième partie a été consacrée à l'utilisation de la robotique comme outil de laboratoire (Appariteur-Robot).

La cinquième partie a examiné l'impact de la robotique pédagogique sur l'acquisition des fonctions cognitives et enfin, en sixième partie, les deux derniers conférenciers nous ont proposé une analyse et des pistes de réflexion sur la robotique pédagogique et ses applications.

Cette série de conférences s'est terminée par une réunion plénière résumée par M. Bernard Dubreuil qui nous a aussi fourni, à la demande des organisateurs, un ensemble de réflexions fort intéressantes sur nos pratiques didactiques.

C'est avec un grand plaisir que nous vous présentons les recherches et les réflexions des conférenciers du **II^e Congrès International sur la Robotique Pédagogique**.

Paul D'Amour

ALLOCUTION D'ACCUEIL

Monsieur le Président,
Distingués invités,
Chers congressistes,
Mesdames,
Messieurs,

L'Université de Montréal est heureuse d'accueillir aujourd'hui les participants au II[e] Congrès international de robotique pédagogique; je souhaite la plus cordiale bienvenue aux professeurs-chercheurs, aux responsables pédagogiques des ministères, aux nombreux enseignants regroupés chez nous en cette occasion.

Je souligne en particulier la présence des membres du groupe des Applications pédagogiques de l'ordinateur (APO, Québec) qui ont été les généreux partenaires de l'Université dans l'organisation de ce congrès.

Le Québec et notamment la région de Montréal sont engagés à plein dans le développement scientifique et technologique. En effet, plus d'un millier des 1 200 firmes de haute technologie que l'on dénombre au Québec se trouvent dans la région métropolitaine.

L'Université de Montréal, déjà reconnue comme leader en recherche, est ouverte aux projets de recherche-développement et elle entend bien intensifier son action en vue d'améliorer son statut à cet égard. De même, elle veut encourager les initiatives capables de développer les moyens d'enseignement et de recherche et de promouvoir les secteurs d'activité aussi prometteurs que la robotique pédagogique.

Nous savons que le développement technique de la société exige des chercheurs en didactique des sciences et des technologies; nous savons que ce développement exige des moyens adaptés à une réalité en constante évolution. Aussi, il faut augmenter la compétence de nos professeurs en ce domaine et former un plus grand nombre d'étudiants dans

ces disciplines. À cette fin, il nous faut déployer des moyens efficaces et attrayants pour les jeunes.

Si l'Université doit jouer un rôle de premier ordre en matière de recherche, il lui importe également de former des maîtres pour l'enseignement des sciences et des nouvelles technologies.

De fait, notre université accorde une priorité au secteur de la didactique de ces matières. Témoigne en ce sens, le fait que l'an dernier nous ayons porté de deux à six le nombre de professeurs engagés dans ce champ d'études.

Par ailleurs, nous avons créé plusieurs cours à l'intention des maîtres en exercice, afin de leur donner les bases requises pour utiliser et comprendre les outils informatisés qui sont à leur disposition.

Est-il besoin de rappeler que la formation scientifique ne peut se passer de la réalité expérimentale rendue accessible par les travaux des étudiants en laboratoire.

Il semble opportun de mentionner que le Conseil des sciences du Canada, dans l'un de ses rapports, a souligné que le contact nécessaire avec le milieu expérimental est souvent négligé au profit des cours magistraux et théoriques.

La possibilité de rendre plus facile la préparation des expériences et de permettre à l'étudiant de vérifier ses propres hypothèses justifie, à elle seule, l'utilisation de robots pédagogiques. Les moyens déjà développés, tout comme les nombreuses contributions de ce congrès international, ouvrent une voie intéressante pour une meilleure formation aux sciences expérimentales et à la technologie.

Mais, en définitive, la condition du développement scientifique et technologique est entre les mains des jeunes. Il faut développer chez eux un véritable enthousiasme pour ces disciplines, il faut les conduire à s'engager dans les carrières multiples ouvertes en ces domaines.

La robotique pédagogique, qui permet un contact sensible et critique avec la réalité est un moyen privilégié à cette fin; il faut donc que les jeunes soient interpellés par la qualité de votre recherche en robotique et par le dynamisme de votre enseignement à l'aide de la robotique.

Dans cette perspective, je vous redis: "Soyez les bienvenus à l'Université de Montréal" et je souhaite que les activités de votre congrès soient couronnées de succès.

M. Gilles G. Cloutier
Recteur de l'Université de Montréal

CONFÉRENCE D'OUVERTURE

ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE ET DIDACTIQUE DES SCIENCES

Pierre Nonnon
Laboratoire de Robotique Pédagogique
Centre d'Innovation Apple
Université de Montréal

Nous allons ici discuter d'une démarche empirique, préalable à la démarche expérimentale qui, par une mise en situation concrète d'un phénomène physique, permet à l'élève de se faire une représentation globale de ce phénomène et de pressentir l'impact des différents facteurs sur l'ensemble. Parallèlement, l'élève pourra acquérir les concepts graphiques et mathématiques associés au phénomène. Cette démarche en action qui permet: 1) de regrouper et de hiérarchiser ces facteurs pour faire apparaître leurs relations naturelles et 2) de se représenter ces relations sous formes graphique et mathématique serait préalable à la démarche expérimentale.

We discuss an empirical approach in which students, prior to the experimental stage, can construct their own representation of a physical phenomenon and can perceive what impact the various factors can have on it globally. Concurrently students learn the mathematical and graphical aspects of the phenomenon. Thanks to this active approach: 1) the natural hierarchy between the various groups of factors can be made explicit and 2) their relationships can be represented in mathematical and graphical terms . This empirical approach would then be followed by the scientific experimental approach.

La méthode expérimentale est incontestablement le moyen le plus fructueux d'accès à la connaissance scientifique. Sa maîtrise par les élèves pose toutefois un véritable casse-tête aux pédagogues. Par sa nature complexe, la méthode expérimentale ne peut être assimilée à une règle ou à un ensemble de règles (règle d'ordre surpérieur) que l'on décomposerait et hiérarchiserait avant de l'enseigner à des élèves. Elle doit être traitée comme une stratégie cognitive, un savoir-faire ou une expertise qui ne s'acquièrent que par la pratique, à travers la conception, la planification et la réalisation d'expériences en laboratoire. Selon Albert Einstein (1952):

> *"La science est la tentative de faire correspondre la diversité cahotique de notre expérience sensible à un système de pensée logiquement unifié".*

Pour assurer cette correspondance, il faut permettre à l'élève de s'engager dans une activité où le défi principal consiste à appréhender une situation complexe, à la manipuler, à jouer avec pour mieux la contrôler et se représenter les interactions entre les différentes variables, et ainsi en pressentir l'articulation, l'organiser pour mieux prédire l'effet de chacune de ces variables sur les autres. Une véritable démarche empirique doit donc être préalable à la démarche expérimentale. La démarche empirique est caractérisée principalement par cette activité heuristique d'exploration. Elle est, selon nous, nécessaire pour amener l'élève, à partir de ses manipulations, à se poser des questions sélectives et productives, avant de rendre ces questions opérationnelles en les formulant comme de véritables hypothèses, à partir d'une représentation d'ensemble, d'un modèle en émergence ou d'une théorie déjà connue. En réalité il ne doit pas exister de rupture entre ces deux démarches, la première faisant progressivement de plus en plus de place à la seconde. La pensée opératoire concrète, supportée par des représentations fonctionnelles, va devenir de plus en plus formelle, de plus en plus abstraite pour supporter un raisonnement hypothético-déductif. Les questions vont s'articuler alors en de véritables hypothèses conduisant à la conception de schèmes de contrôle des variables pour planifier des expériences propices à faire avancer la compréhension des phénomènes à l'étude. Cette compréhension s'insérant de façon constructive en un tout, une représentation fonctionnelle, une loi,

un modèle ou une théorie. Cette représentation fonctionnelle est préalable pour favoriser cette planification et générer d'autres hypothèses de plus en plus judicieuses, suscitant des expériences de plus en plus pertinentes, pour permettre à l'élève de devenir de plus en plus autonome dans l'acquisition de ses connaissances.

Une véritable didactique d'acquisition de la stratégie cognitive ou des stratégies cognitives qui s'appliquent à la démarche scientifique doit tenir compte de cet aspect constructif, de ce savoir-faire que l'élève doit se donner en articulant l'ensemble de ses activités de laboratoire. Plutôt que de suivre des activités prescrites par les programmes, où les questions sont tributaires des objectifs, il faut engager l'élève dans l'exploration, dans la construction ingénieuse, la résolution de problèmes pratiques pour qu'il puisse organiser et formaliser toutes ses découvertes d'une manière plus systématique, plus scientifique. Ce passage à une formalisation plus scientifique sera alors supporté par l'aspect concret du laboratoire, par sa capacité de visualiser le phénomène et de projeter celui-ci en images pour les manipuler afin de pressentir des effets non encore appréhendés. Ce raisonnement qui travaille sur des images issues du phénomène réel et qui permet une manipulation concrète et facile de toutes les variables en jeu est didactiquement impossible à mettre en oeuvre dans un système qui privilégie l'enseignement magistral. Il faut que ces activités se déroulent au laboratoire et précèdent l'explication magistrale. Ce contexte, nous l'avons conçu technologiquement avec un ordinateur qui va contrôler les expériences, paramétrer ou mesurer les variables avant de les visualiser.

Objectif I: Avec ces robots pédagogiques, nous voulons rendre triviale la préparation des expériences et ainsi favoriser la reproduction, la multiplication des manipulations expérimentales, afin de donner à l'élève l'opportunité de se construire une représentation fonctionnelle du phénomène qu'il explore. L'élève devrait être capable: 1) d'identifier les variables en présence, 2) de créer des combinaisons originales de ces variables et de pressentir les interactions entre celles-ci, 3) de mettre en évidence ces interactions en les provoquant directement avec le prototype.

La représentation graphique

Si l'élève peut appréhender d'une manière sensible une interaction entre deux variables, il lui est plus difficile de se représenter et de coordonner les interactions entre plusieurs variables s'il ne dispose pas d'outils cognitifs adéquats. Le langage, à cause de sa structure séquentielle, est peu efficace pour se représenter les interactions entre plusieurs variables. Par contre, le langage graphique, à cause de son aspect visuel, est beaucoup plus synthétique pour aider l'étudiant à se représenter des interactions entre variables.

L'acquisition des représentations est considérée, depuis Piaget (1971), comme presque exclusivement liée au développement intellectuel de l'élève, et l'on s'est surtout attaché en psychologie à étudier ces représentations comme une conséquence de ce développement plutôt que d'élaborer des stratégies d'apprentissage de ces représentations. On parle alors de représentations initiales, laissées aux aléas de la vie, et beaucoup d'auteurs travaillent à rendre ces représentations plus scientifiques. Cet obstacle épistémologique (Bachelard, 1967) est alors vu commme une barrière, et toute l'activité didactique consisterait à franchir cette barrière et à faire passer chaque élève d'un mode de représentation commun et personnel à un mode de représentation scientifique. Nous pensons que cette approche est intéressante au plan de la recherche, mais peu utile au plan didactique, puisqu'il est difficile dans le contexte de l'école d'imaginer que le professeur puisse partir des représentations initiales et diversifiées des élèves pour construire les activités propres à surmonter chacun de ces obstacles. Nous ne voulons pas, comme dans une psychothérapie à caractère intellectuel, corriger mais provoquer des apprentissages cognitifs, une acquisition de la représentation graphique par la modélisation en temps réel des données d'une expérience.

Objectif II: La lunette cognitive est un outil didactique d'acquisition de la représentation graphique par la visualisation simultanée de l'action et de sa représentation. Son utilisation en classe avec des élèves devrait faciliter et accélérer le processus de mise en relation des différentes variables pour interpréter ou inférer leurs interactions. Ainsi, à cette

étape, l'élève devra être capable: 1) de se poser une question sur l'interaction d'au moins trois variables, 2) de construire un schème de contrôle des variables, 3) d'expérimenter et, 4) de conclure sur la validité de sa question.

La formalisation algébrique

Exprimer sous forme algébrique un phénomène physique relève d'une expertise non négligeable de la part de l'étudiant. Cette expertise n'est acquise en général que par très peu d'étudiants et seulement au niveau collégial ou universitaire. La modélisation mathématique d'un phénomène physique n'est généralement pas enseignée en tant que telle. On doit alors postuler à priori que l'élève est capable de calculer et d'exprimer une interaction entre deux variables en mathématiques, puis d'appliquer cette compréhension sur une interaction de variables en physique, en faisant le lien entre la formule qui lui est fournie et le phénomène à l'étude.

Il nous semble douteux que cette pratique déductive dans l'application de formules sur des phénomènes physiques puisse amener l'étudiant à imaginer et proposer une expression algébrique du phénomène qu'il étudie. Nous pensons que cette pratique didactique, essentiellement déductive, ne permet pas la réversibilité de la connection entre le domaine abstrait des mathématiques et celui, plus concret, du phénomène physique. La modélisation graphique ou mathématique doit nécessairement progresser du phénomène physique vers la découverte de son expresssion mathématique et non l'inverse.

Il faut donc imaginer, comme nous l'avons fait avec la lunette cognitive pour la modélisation graphique, un outil didactique qui invite l'élève à formuler une expression mathématique pour les phénomènes qu'il étudie et lui permette de vérifier cette formulation avec le phénomène réel, de la changer ou de la corriger au besoin. Cette fonctionnalité, nous l'avons rendue disponible à partir du graphique en permettant à l'élève d'ajuster sur le tracé exprimant l'interaction des données expérimentales, une courbe dessinée à partir des paramètres de différentes équations. Par

ces ajustements, l'étudiant va comprendre le lien entre la variation de chaque paramètre dans l'équation et l'évolution du tracé de la courbe correspondante. Il devrait ainsi, par tâtonnements successifs, déterminer l'importance de chaque paramètre en rapport avec le phénomène, essayer différentes équations, découvrir l'influence de toute modification des variables du phénomène sur la courbe et sur son équation. Par exemple, avec le plan incliné l'élève, en modifiant l'angle du plan et la vitesse initiale peut visualiser l'influence de chacun de ces facteurs sur la courbe graphique. Ainsi avec une vitesse initiale, et un angle nul, il peut observer que sa courbe est une droite dont la pente est fonction de la vitese initiale, que la fonction est du premier degré ($y = ax + b$) ou $D = Vi\ t$.

Lorsque l'angle est plus grand que 0, il peut observer:

si Vi = 0, (la vitesse initiale est nulle), que l'équation devient $Y = a X^2$ ou $d = 1/2\ a\ t^2$

si Vi > 0, (la vitesse initiale est positive l'équation prend alors la forme $Y = ax^2 + bx$ ou $d = 1/2\ a\ t^2 + Vi\ t$...

Par contre si l'angle est inférieur à 0, dans le cas d'une pente négative, il observe que le tracé se courbe dans l'autre sens, que sa bille décélère tout au long du parcours et que le coefficient de l'accélération est négatif ($y = - bx^2 + ax$ ou $d = -1/2\ a\ t^2 + Vi\ t$).

Objectif III: En proposant différentes équations pour exprimer algébriquement le phénomène qu'il étudie, et en essayant d'ajuster celles-ci sur la courbe visualisant l'interaction des variables du phénomène, l'étudiant va, par cette pratique, découvrir les relations entre le phénomène physique et son expression algébrique. Quelle variable du phénomène va affecter quel paramètre de l'équation. Inversement, après 20 ou 25 essais, l'élève devrait être capable d'identifier, à partir de la formule $D = 1/2\ at^2 + Vit$ que:

lorsque le plan est incliné, la bille accélère et le coefficient a est positif,

lorsque le plan est incliné dans l'autre sens, la bille décélère et le coefficient a est négatif,

lorsque la bille n'a pas de vitesse initiale, le second coefficient (Vi) de l'équation est nul.

Mais surtout il a pu se convaincre et expérimenter pour la première fois qu'avec une simple équation mathématique ($y = 1/2\ a\ t^2 + Vi\ t$), il est capable de décrire un phénomène aussi complexe que le mouvement uniformément accéléré, et prédire avec celle-ci l'influence unique ou combinée des paramètres a et Vi. Cette façon quasi sensorielle de permettre à l'élève de réaliser des connexions entre le phénomène physique, sa représentation graphique et son expression mathématique est vraiment unique à la robotique pédagogique. Elle devrait permettre à l'élève de mettre en rapport ses expériences sensibles avec un modèle ou une structure théorique.

> *"Dans un système logiquement unifié, les expériences sensibles doivent être en rapport avec la structure théorique de telle sorte que la coordination résultante soit unique et convaincante".*
> (Einstein, 1952)

Bibliographie

BACHELARD,G. (1967). **La formation de l'esprit scientifique.**

EINSTEIN,A. (1952). **Conceptions scientifiques.** Flamarion.

LE TOUZÉ, J-C. et BEAUFILS, D. (1990). "Plan incliné: un logiciel d'acquisition automatique et de traitement numérique de données". **Informatique et pédagogie des sciences physiques. Union des physiciens.** Paris.

NONNON, P. et al. (1972). "Conditionnement classique et réaction cardiaque chez l'homme". in L. Laurencelle (éditeur), **Bulletin de psychologie**, volume II, U.Q.A.M., Montréal.

NONNON, P. (1975). **Contingence et discontinuité dans le feedback de l'activité électrocorticale alpha.** Thèse de maîtrise inédite. Bibliothèque des sciences, Université du Québec à Montréal.

NONNON, P. (1987). "Acquisition d'un langage graphique de codage par la modélisation en temps réel des données d'expériences". **Psychology of Mathematics Education. Proceedings of the Eleventh International Conference**, Montréal. (pp. 228-234).

NONNON, P. (1987). "La robotique pédagogique". **Le Bus**, volume 4 (3), Montréal.

PIAGET, J. (1971). **La construction du réel chez l'enfant**. Delachaux et Niestlé.

PREMIÈRE PARTIE

LA ROBOTIQUE DANS L'ENSEIGNEMENT PRIMAIRE ET SECONDAIRE

ESSAI D'ENSEIGNEMENT DE LA TECHNOLOGIE À L'ÉCOLE, AVEC LA ROBOTIQUE COMME FINALITÉ.

Françoise BOUMATI
Professeur technologie
Ecole Normale d'Instituteurs

Résumé

L'enseignement de la Technologie qui s'instaure à l'école élémentaire, a pour objectif essentiel, de "permettre aux enfants d'accéder à la maîtrise intellectuelle et pratique du monde". Nous espérons résoudre cette problématique en amenant les enfants à concevoir eux-mêmes un projet technique, à partir d'un matériel modulaire (Meccano) qu'ils découvrent, pour aboutir à la Robotisation simple (en Logo). Ce travail permet de mettre en oeuvre une démarche de type industriel: expression d'un besoin - cahier des charges - avant-projet - tests - prototype et fabrication finale. Carrefour disciplinaire, il familiarise les enfants avec divers modes de représentation, les méthodes de traitement des données et la programmation en vue d'une action, ou d'un cycle d'actions. La simplicité du matériel nous permet de susciter un vif intérêt, qui, sous une apparence ludique, fait émerger les problèmes fondamentaux inhérents à l'approche globale d'un système.

Mots clés: Projet technique - Robotisation simple - Démarche industrielle - Carrefour disciplinaire.

Abstract

The teaching of technology setting up in the primary elementary school is essentially based on letting children have access to the intellectual and practical mastery of environment. We intend to solve this problem by leading children to conceive by themselves a technical project, from a modular equipment (Meccano) they will discover, to succeed in

direct robotism (in Logo). This kind of work allows us to use an industrial type process: expression of need - contract's conditions - preliminary design -tests - prototype and final making. Scourge's crossroad, it familiarizes children with different ways of perception, methods of data processing and programming, in the purpose of an operation, or a cycle of operations. Beneath a playfull look, the simplicity of the equipment allows us to give rise to a fast motivation, which makes the fondamental problems inherent to the global approach of a system come to light.

Key-words: Technical project - Direct robotism - Industrial process - "At the crossroad between various curricula".

I. Préambule

Le monde évolue, l'école souhaitait s'adapter à cette évolution en temps opportun et ouvrir les enfants aux complexités du monde actuel. Aussi dans les Instructions officielles de l'enseignement primaire et maternel de 1985, voit-on apparaître une nouvelle discipline: la technologie, qui doit "permettre aux enfants d'accéder à la maîtrise intellectuelle et pratique du monde". C'est une composante indispensable à la culture du citoyen de l'an 2000 au travers d'une discipline pratique, rationnelle de la réalisation raisonnée.

Depuis, une circulaire d'avril 1989 destinée à la formation des futurs instituteurs en École Normale précise: "De l'école maternelle (par des manipulations simples) au cours moyen (étude et réalisation simples mais ayant un réel sens technique) la technologie se fixe comme objectif de donner progressivement à l'enfant la conscience du caractère historique et social du monde construit par l'Homme."

II. Introduction

La mise en place de cette nouvelle forme d'enseignement, s'appuie sur les concepts clés issus de la notion de culture technique. L'enjeu fondamental est défini dans le rapport de la C.O.P.R.E.T (Commission permanente de réflexion sur l'enseignement de la technologie): "D'un point

de vue plus large encore touchant le domaine politique, l'acquisition d'une culture technique à l'école concerne l'orientation de la société en général, ses valeurs et ses choix d'avenir".

L'enseignement à construire doit donner les outils de l'approche interrogative et de la compréhension sans simplification abusive. Il faut donc trouver les moyens d'aborder, même avec de jeunes enfants, la complexité et la diversité, tout en maintenant un enseignement de synthèse. C'est dans cet esprit que nous avons déposé en octobre 1989, un projet de travail, dans le cadre des F.A.I. (Fonds d'aide à l'innovation), en collaboration avec 4 écoles du département de l'École Normale de Bonneuil, et la participation de Meccano, pour le matériel modulaire.

Ligne générale de notre problèmatique

Instaurer réellement l'enseignement de la technologie en classe, non comme un discours "sur" mais comme la mise en pratique d'une démarche technologique qui aurait besoin d'un apport informatique pour aboutir à la réalisation d'un mobile commandé par l'ordinateur.

Nous avons mis en place un projet qui se situe à différents niveaux de problèmatique, en fonction de l'âge des enfants et de notre implication possible dans la classe.

4 types d'actions:

* Découverte et utilisation de Meccano plastique en grande section de maternelle. Créativité, développement de l'imaginaire, transmission sous plusieurs formes, au groupe classe et au maître, des réalisations.
* Utilisation libre de 2 boîtes de Meccano métal en cours moyen d'une école d'enfants à handicaps moteurs.
* Découverte et utilisation des 2 types de Meccano, en cours moyen en vue de la robotique.
* Travail avec le Filicoupeur en cours moyen. (Se reporter aux travaux d'Eric Bruillard)

Le déroulement de l'ensemble du projet se fera en 2 années scolaires, voire 3 si nécessaire.

Dans un premier temps nous allons préciser quels étaient les objectifs qui ont présidé à l'élaboration de notre projet, puis nous relaterons l'expérimentation en classe de CM qui réalise un projet technologique robotisé, (classe avec laquelle nous avons plus particulièrement travaillé). Puis nous exposerons les réflexions inspirées par l'expérience en cours, les conclusions dans l'état actuel du projet et enfin nos perspectives.

III. Les objectifs

1) Objectifs généraux: apports attendus pour les enfants:
   Développement moteur.
   Développement cognitif.
2) Objectifs spécifiques au projet:
   Mettre en place des comportements d'analyse scientifique.
   Favoriser les activités d'exploration et de réalisation d'objets.
   Mettre en pratique les 2 grands types d'approche importants, selon Jean-Louis Martinand:
      L'exploration ou approche analytique par observation.
      La réalisation (conception, fabrication construction, utilisation) qui relève d'une approche globale et synthétique, mettant en évidence la notion de contrat de réalisation.
   Utiliser l'ordinateur comme un outil de commande du dispositif réalisé, avec le langage LOGO.

La robotique, à notre avis, offre la possibilité d'atteindre tous ces objectifs. Elle permet:
   De sensibiliser l'enfant à l'environnement technologique de la société industrielle.
   D'approcher une "réalisation raisonnée" (analyse intellectuelle et manuelle par recherche des solutions aux problèmes technologiques et constructions intellectuelles et pratiques).
   De développer la créativité.

IV. L'expérimentation en classe de CM1

1) Modalités:

* Déroulement du travail:

Découverte et appropriation autonome du matériel modulaire Meccano.

Réalisations "dirigées". Projet technique.

Mode de commande et robotisation simple.

Utilisation de la réalisation.

Compléments de fonctionnalité.

* Conditions de travail:

Nous avions à notre disposition 3 boîtes de Meccano plastique et 3 boîtes de Meccano métal dont une seule avec un moteur. La classe de 24 enfants était divisée en 2 groupes; l'un travaillait de façon quasi autonome en arts plastiques, et l'autre participait au projet. Des moments de synthèse permettaient aux groupes de s'informer mutuellement pour faciliter l'alternance sur le même travail.

2) Descriptif:

Présentation du projet aux enfants:

Lorsque le mot "robot" a été prononcé, tous les élèves se sont montrés enthousiastes, mais la représentation qu'ils s'en faisaient nécessita une étape supplémentaire de "démystification". Il s'agissait, avant tout travail un peu approfondi, de cerner la notion de robot dans l'esprit des enfants en évacuant tous les stéréotypes véhiculés par les dessins animés de science fiction et la mauvaise terminologie "arts ménagers".

Les enfants n'avaient aucune idée de ce que pouvait recouvrir ce mot dans la réalité, n'avaient jamais eu le moindre cours de technologie, ou de sciences physiques. Nous avons défini simplement à l'aide d'exemples, l'automate et le robot.

3) Mise en oeuvre:

Découvrir et s'approprier le matériel mis à disposition pour en comprendre les principes. Découverte libre, seulement avec la

documentation fournie dans les boîtes. Des problèmes énormes ont surgi dès cette première approche: à savoir, difficulté de mise en place des différents éléments lors de la manipulation des vis et des écrous. Les enfants, pour la plupart, ne réalisaient pas qu'il fallait maintenir l'écrou quand on voulait visser. L'absence de consigne, quant au type de réalisations attendues, fit apparaître dans certains cas une lacune énorme au niveau de la créativité originale. (Plusieurs ont reproduit en Meccano le bonhomme digne d'une classe de maternelle).

Réalisations dirigées:

Suggestion de réaliser "quelque chose de mobile qui transporterait des produits". Paradoxalement il fallut dans un premier temps expliquer ce que voulait dire "mobile". L'interprétation immédiate qui en fut faite a été une voiture. Afin qu'il y ait une difficulté supplémentaire à résoudre: suggestion à nouveau, d'imaginer une rupture dans le trajet à effectuer. Donc obligation de trouver un moyen technique de franchir cette rupture.

PROJET TECHNIQUE:

Établissement en commun du projet technique en respectant d'une part les objectifs sous-jacents de l'enseignant, d'autre part en laissant les enfants maîtres du projet.

* Expression des besoins:

  Réaliser un véhicule mobile avec le Meccano métal. La rupture de parcours se précisa en ravin concrétisé par un espace entre 2 tables de classe. Ce ravin serait franchi par quelque chose réalisé en Meccano plastique.

* Avant-projet:

  Divers essais dans les 2 cas, en complète autonomie des élèves. Des instants cocasses ne manquaient pas dans leurs échanges,

en particulier, quand une des élève voulait réaliser un "champs élysées" pour franchir le ravin.

- Cahier des charges:
  La fonction globale de l'objet.
  Inventaire des contraintes à respecter.
  La conception de l'objet.

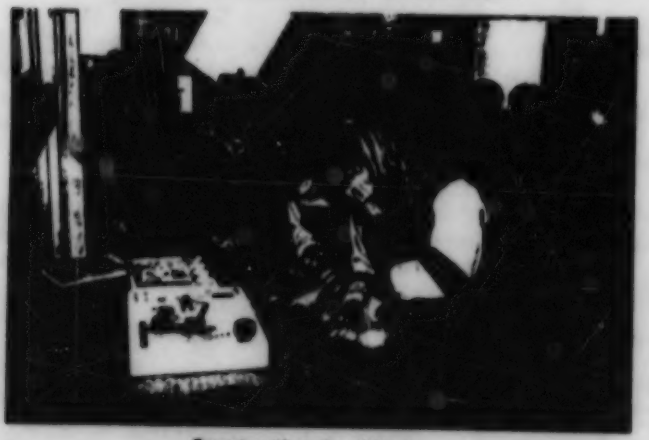
- Fabrication du prototype.

- Essais de fonctionnement

Le projet des enfants selon les principes technologiques ci-dessus, les diverses contraintes matérielles, le temps disponible, et leurs souhaits, aboutit à une espèce de plateforme, où le véhicule pourrait se placer, manoeuvrée de chaque côté du ravin par une manivelle enroulant une ficelle (principe du treuil non explicité par les enfants). La manivelle étant elle-même solidaire de pylônes qui permettaient de rester à une certaine hauteur pour éviter d'arriver en dessous du bord des tables figurant les bords du ravin. Le véhicule aurait des essieux fixes pour simplifier un peu et ne se déplacerait qu'en ligne droite. L'intérieur serait suffisamment grand pour assurer une fonction de transport. Dans un premier temps, tout serait animé manuellement. Nous passerions à la commande électrique, puis par ordinateur, ultérieurement.

Les enfants étaient très organisés, actifs, se répartissant le travail et les réalisations étaient conformes au cahier des charges. L'ensemble pouvait paraître un peu restrictif, mais des solutions techniques avaient été trouvées et fonctionnaient.

Création de la plateforme de transbordement



Construction du véhicule

PASSAGE AU MODE DE COMMANDE

* Recherche de l'algorithme:

  Commander le moteur du véhicule, M1. (1 seul, puisque les enfants ont choisi un modèle qui ne tourne pas): marche avant, marche arrière, arrêt.

  Commander le déplacement de la plateforme transbordeuse, donc commande du moteur qui permettra d'enrouler la ficelle ou de cesser l'enroulement, et ceci pour les 2 côtés du ravin, donc 2 moteurs, M2 M3.

* Algorithme de fonctionnement:

  Faire avancer le véhicule.

  Mettre en marche son moteur M1 pendant un temps T1 c'est-à-dire jusqu'au bord du ravin.

  Arrêter le moteur M1.

  Tester la présence de la plateforme.

  Si la plateforme est là:

  Remettre le moteur en marche M1 pendant un temps T2 afin de placer le véhicule sur la plateforme.

  Arrêt du moteur M1.

  Si le véhicule est en place, alors mise en marche du moteur M2 qui commande l'enroulement de la ficelle, c'est-à-dire la manivelle du treuil du bord opposé ceci pendant un temps T3, nécessaire à la traversée.

  Arrêt du moteur M2.

  Mise en marche du moteur M1 du véhicule pendant un temps T4, pour quitter la plateforme et se deplacer fonction du trajet choisi.

  Sinon:

  Faire venir la plateforme en mettant en marche le moteur M3 pendant le temps T3

  On retrouve à ce niveau le cycle précédent: mise en marche de M1 pour se placer sur la plateforme.

Le problème de savoir s'il fallait laisser le moteur de la manivelle opposée "en roue libre" ou en marche n'a pas été réglé. Les enfants attendent des essais car ils visionnent mal ce problème sans concrétisation. La nécessité des tests a été bien perçue par la classe et, pour le moment nous n'avons que des "capteurs visuels" pour repérer la présence de la plateforme.

PASSAGE A LA ROBOTISATION

Nous avons déterminé les différents éléments qui constituent le robot:

- Le mobile avec un moteur M1, la plateforme avec les moteurs M2 et M3, la partie électrique en liaison avec les "mobiles" d'une part et le circuit primaire d'autre part, après étude du circuit commandé manuellement.
- Le circuit primaire en liaison avec l'interface branchée sur l'ordinateur, après tests faits sur des diodes électroluminescentes.
- Quitte à rester au niveau le plus élémentaire, il n'a pas été envisagé de faire utiliser aux enfants un logiciel tout prêt où il n'auraient eu qu'à déterminer une succession d'actions et des fonctionnalités qui leur seraient totalement extérieures. Un logiciel "clef en main" est certes séduisant, mais il nous semblait dommage de gommer toute la partie compréhension du processus, relativement facile d'accès, en langage LOGO.

Pratiquement il fallait montrer aux enfants comment on pouvait agir au niveau de l'ordinateur. Nous souhaitions les faire pénétrer dans le monde des entrées et des sorties au moyen des TO7-70 et de l'interface école disponible depuis la mise en place de la mallette technologie.

Nous avons établi une approche progressive des problèmes en utilisant d'abord la visualisation par Led.

Actuellement notre expérience est à ce stade.

V. Réflexions

Si l'on peut considérer un robot comme un véhicule automatique multifonctionnel qui peut s'adapter à l'environnement dans lequel il évolue et qui est destiné à remplacer, partiellement ou totalement, l'homme dans une action, en tenant compte de l'environnement, notre projet en est une des premières étapes, puisqu'il a consisté à créer avec des élèves un véhicule pouvant suivre un chemin déterminé à l'avance et pouvant se rendre compte de la possibilité de poursuivre ou non son parcours. La réalisation pourrait très bien dans l'absolu se passer d'ordinateur, mais l'utilisation de ce dernier permet de gérer des situations diverses, puisque c'est un outil flexible et en ce sens nous nous rapprochons du monde de l'industrie.

VI. Conclusions partielles de l'expérimentation

1. Par rapport aux objectifs:

Il se confirme que la définition très précise, à l'avance, des objectifs est bien illusoire. Il vaudrait mieux parler en termes d'objectifs possibles et de cerner les obstacles qui seront franchis par les enfants. En définissant les obstacles, la description des buts, les activités envisagées, et en orientant les interventions pédagogiques on se donne les moyens de faire converger tous les travaux sur les raisonnements et la conception.

2. Par rapport aux enfants:

Au fur et à mesure de l'avancement du projet, la motivation des enfants est telle qu'ils font appel spontanément à toutes les disciplines qui leur faciliteront le choix des solutions. De par sa forme, la robotique est déjà le point de rencontre de la physico-technologie et de l'informatique. En outre elle se révèle être un véritable carrefour disciplinaire et met en évidence:

- Le besoin de formuler clairement les actions.
- La nécessité de transmettre aux autres l'état des recherches.

Pour cela il faut: Représenter: soit sous forme de dessins, soit en approchant les schémas et dessins techniques, avec mesures, calcul d'échelle, etc...

- Raisonnement logique et structuré.
- Plaisir à manipuler, à agir, " à jouer": un élève a dit: "J'oublie que c'est du travail". De plus, chaque étape du travail est investie dans la suivante. Pour les élèves, c'est un moyen de favoriser l'imagination, la création de travail en groupe ou en équipe, où chacun contribue à la réalisation finale.

VII. Bilan partiel du projet global

En grande section de maternelle:

Les inventions des enfants sont immensément riches et la relation qu'ils en font eux-mêmes demanderait une étude très approfondie. Il est à noter que les enfants ont comparé le Meccano avec d'autres types de matériel modulaire et que, par sa combinatoire quasi infinie, il emporte tous leurs suffrages.

En classe de CM:

Le projet technologique mené à bien, en s'appuyant sur les démarches de type industriel, permet, en développant un esprit logique ainsi qu'un esprit d'équipe, de former les enfants à une recherche expérimentale. Dans le cas de robotisation, il permet aussi d'aborder la programmation et les problèmes de commande.

On ne simule pas l'automatisation des modes de production mais on illustre un des principes fondamentaux de cette automatisation.

Précisons que dans tous les cas, et quel que soit le terrain ou le mode de fonctionnement l'enthousiasme, voire la passion des enfants pour ce travail amène à réfléchir une nouvelle fois sur l'importance ou la motivation dans la mise en place d'une stratégie pédagogique.

VIII. Perspectives

Nous souhaitons approfondir la réflexion et l'analyse relatives aux attitudes comportementales des enfants de maternelle face aux éléments modulaires, aux concepts mis en oeuvre, en allant plus avant dans la comparaison des diverses combinatoires, à la fois dans un même type de matériel et dans des types différents. Analyse que nous voudrions mener en sachant que "Les connaissances ne sont pas des copies de la réalité mais des assimilations du réel à des structures" (Piaget). Nous avons plusieurs cassettes vidéo pour ce travail.

En classe de CM, il faut, avant toute autre démarche, terminer la robotisation du projet: mettre des interrupteurs fin de course aux bords du ravin qui détecteront la présence de la plateforme et renverront l'information en entrée. Le fait que le mobile ne se déplace qu'en ligne droite ne nous a pas semblé gênant car si l'on sait gérer un moteur on sait en gérer un deuxième sur un même véhicule. C'est en fait plus la plateforme qui correspond à la notion de robot, mais comme les enfants avaient initialement conçu le véhicule nous avons conservé le tout. Peut-être serons-nous amenés à changer le moyen de déplacement de cette plateforme (poulie câble plutôt que ficelle...) ainsi qu'à ajouter des capteurs sur le véhicule pour reconnaître l'arrivée au bord du ravin. Nous avons matière à travailler.

Nous attendons également avec impatience la sortie de l'interface Meccano qui nous permettrait d'abandonner enfin les ordinateurs TO7-70!

Par la suite, il n'est pas exclu d'utiliser un produit fini du commerce (Légo technic, bras robot...) et d'établir un document comparatif tant sur le plan des créations possibles et de leurs fonctionnalités, que sur le plan des réinvestissements disciplinaires et des acquis.

Bibliographie

BARTH BRITT, Mari (1987). **L'apprentissage de l'abstraction**. Retz.

BAUDRILLARD, T. (1972). **Le système des objets**. Gonthier Denoël.

BEAUNE, J.-C. (1980). **L'automate et ses mobiles**. Flammarion.

BRUILLARD, Eric (1989). **Le Filicoupeur**. Actes du 1er colloque robotique du Mans.

CORIAT, Benjamin (1984). **La robotique**. La Découverte.

DEFORGE, Yves (1985). **Technologie et génétique de l'objet industriel**. Maloine.

DE ROSNAY, Joël (1975). **Le macroscope. Vers une vision globale**. Seuil.

HABERMAS, J. (1984). **La technique et la science comme idéologie**. Médiations Denoël.

MARTINAND, Jean Louis (1987). **La technologie à l'école problèmes et perspectives?** Congrès de l'AGIEM.

MOLES, A. (1972). **Théorie des objets**. Editions Universitaires.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1985). **Instructions officielles pour l'enseignement en école maternelle et élémentaire**.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1989). **La technologie à l'école et dans la formation des instituteurs**.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1981-1984). **Rapport de la Commission permanente de réflexion sur l'enseignement de la technologie**.

UNE PRATIQUE PÉDAGOGIQUE EN ROBOTIQUE AVEC DES ENFANTS DE 11/12 ANS.

André JOLY
Technologie au Collège
Académie de Paris

Résumé: Présentation d'une pratique pédagogique.

Commander des ensembles automatisés est un élément de motivation extrêmement important pour les enfants de dix - treize ans. L'organisation pédagogique mise en place - groupes de deux ou trois élèves, travail en autonomie, nécessité de rendre compte, auto-évaluation validée par le groupe et par le professeur - permet de responsabiliser chacun. L'analyse de fonctionnement du matériel étudié -considéré comme un système- exprimée en différents langages, aboutira à la rédaction d'un programme. Le passage constant de l'analyse du réel à des recherches sur maquette, et vice-versa, élimine, en grande partie, l'aspect ludique de la maquettisation. Les objectifs espérés, indépendamment des apprentissages spécifiques à la robotique, sont de l'ordre du comportement. Essentiellement transférables ils doivent entraîner des projets pluri-disciplinaires.

Mots clés: Pédagogie/Robotique - Modélisation - Responsabilisation.

Abstract: Presentation of a teaching process.

To master robotised hardware is a highly important factor of motivation for children between the ages of ten and thirteen. The teaching organisation - groups of two to three pupils, self-directed work, obligation to report, self-assessment ratified by the group and the teacher - gives an opportunity of making each person feel responsible. The fonctional analysis of the hardware - considered as a system - expressed in various languages will lead to programming. The constant shuttle from

the analysis of concrete objects to research on models and vice versa - to a large extent - eliminates the game-like aspect of a model. The objectives - leaving aside the learning of certain notions specific to robotics - refer to behaviour. Essentially transferable, they will no doubt create projets integrating several subjects.

Keywords: Teaching and Robotics - Modelisation - Responsibilisation.

Présentation

Discipline culturelle nouvelle dans les établissements français destinés aux enfants de onze à quinze ans, les "colléges", la "technologie" se propose d'aider chacun à mieux admettre, comprendre et vivre dans le monde technologique qui l'entoure. Cette démythification de notre environnement, cette connaissance du monde de la production qui nous entoure, il est conseillé de les entreprendre en utilisant la "pédagogie de projet", forme spécifique de la "démarche de raisonnement logique préalable à toute action". Discipline de raisonnement et d'action, la technologie se doit aussi d'aider au développement de la socialisation et de la responsabilisation de l'individu par la mise en oeuvre d'activités de groupe.

Il semble que concilier tous ces objectifs ne soit pas chose facile, pourtant, concevoir un projet, le mener de façon autonome, en être entièrement responsable doivent être, pour des enfants de cet âge des éléments de motivation suffisamment importants.

Le projet technique

Concevoir un produit technique, le réaliser, évaluer les résultats obtenus, réguler la fabrication, ... beaucoup de pré-adolescents sont fortement motivés par cette démarche, or, Louis Not, dans "Où va la pédagogie du projet?", constate que "L'évolution observée à travers les pratiques ... montre à quel point il reste difficile, malgré les intentions affirmées, de se détacher d'une pédagogie centrée sur le maître" (p. 251) et s'interroge sur ce que l'on appelle pédagogie du projet: "Se demander où va la pédagogie du projet nécessite entre autres que l'on s'interroge sur la

part que l'élève est appelé à prendre dans le choix du thème, l'organisation du travail, la réalisation du (des) produit(s). La pédagogie du projet peut être au service d'un didactisme pratiquement sans concession, lorsque le maître impose à ses élèves la réalisation d'un projet qu'il a conçu pour eux et dont il surveille et régente l'exécution: elle se réduit alors à une pédagogie prévisionnelle pour un travail planifié et magistralement dirigé... même s'il s'ouvre par la formule "Nous formons le projet de....".

Dans ces conditions, chercher quels sont les domaines de la technologie qui permettent une mise en oeuvre d'une véritable pédagogie du projet, pédagogie centrée sur celui qui se trouve en situation d'apprendre, c'est chercher les parties du programme dans lesquelles l'adolescent peut être amené à prendre l'entière responsabilité de son projet de l'idée initiale à l'évaluation du produit fini. C'est aussi chercher les réalisations qui permettront à l'enfant d'effectuer tous les essais nécessaires à la mise au point de la solution préconisée, c'est éliminer la tentation de mener avec les élèves l'étude de faisabilité jusqu'à ce que l'on aboutisse à la décision de fabriquer l'objet tel que le professeur l'a décidé et comme le montre le prototype qu'il a déjà réalisé. Presque inéluctablement, on est alors amené à l'étude des systèmes automatisés construits à partir de modules, programmés par l'apprenant.

Or, conscient du fait que "les objectifs tendent à se différencier de l'option initiale à mesure que l'on descend vers la pratique éducative quotidienne" (V. et G. De Landsheere, Objectifs de l'éducation, p. 7), nous avons réalisé une enquête auprès de quelques groupes de professeurs de technologie pour situer les objectifs terminaux susceptibles d'être atteints, actuellement, en fin de scolarité. Les réponses reçues n'indiquent pas un intérêt marqué pour l'étude du fonctionnement des "robots" qui équipent les laboratoires-ateliers des établissements. Peut-être ce manque d'intérêt relatif tient-il au fait que les objectifs fixés par ces enseignants restent souvent proches de: "Apprendre à se servir de..., apprendre à utiliser tel robot pour accomplir telle tâche"? Cette façon d'appréhender les possibilités de formation humaine de ces matériels semble très restrictive et peu conforme aux possibilités offertes.

Les objectifs fixés

Paraphrasant le psychologue britannique qui annonçait: "Ce que John fait au bois m'intéresse moins que ce que le bois fait à John" - nous devons nous intéresser au moins autant à ce que la technologie peut apporter à l'apprenant comme moyen d'atteindre certaines "étapes développementales" que M. J. Cardinet, classait, lors d'une conférence faite à Paris en novembre 1989, selon les trois dimensions :

- représentations,
- démarches de pensée, ou stratégies,
- stades ou paliers d'équilibre,

qui permettent à l'enfant d'atteindre les objectifs fixés en étape terminale de fin d'apprentissage:

- Contenus à assimiler
- Qualifications ou compétences
- Situations ou rôles sociaux.

En ce qui concerne les compétences, cognitives en particulier, il serait facile de montrer que les activités envisagées permettent de développer nombre d'entr'elles, mais nous nous préoccuperons surtout des objectifs liés aux démarches de pensée, aux stratégies, aux représentations.

Si adopter la pédagogie du "projet technique" implique le choix de la démarche logique de pensée, cela ne préjuge pas de la méthode pédagogique retenue. Or nous souhaitons à la fois responsabiliser l'élève et l'habituer au travail en équipe.

Quelle démarche adopter?

Des travaux menés de 1978 à 1981 dans le cadre d'un projet pilote européen: "Formation des maîtres en E.M.T.", nous avaient montré l'intérêt du travail en groupes autonomes d'apprentissage, pour le développement du sens des responsabilités de l'apprenant vis-à-vis de lui-même, et vis-à-vis des autres membres du groupe. Nous avions noté, alors, l'importance du changement de nature de la "relation éducative" lorsque

l'enseignant devient un médiateur entre l'enfant et la connaissance, un excitateur de sa curiosité, de sa motivation, un conseiller dans la mesure où il est sollicité.

L'ensemble des conclusions de cette recherche est repris dans notre expérimentation. La démarche pédagogique adoptée est celle d'un "projet" de système automatisé mis au point par groupe de trois ou quatre. Chaque groupe, pour le travail fait en autonomie, dispose d'une documentation adaptée.

La conception du produit est l'occasion de mettre en oeuvre la notion de faisabilité de l'idée émise, d'effectuer le passage de l'imaginaire au réel, de vivre ces "moments divergents", terme préféré à celui de "pensée divergente" par Philippe Meyrieu dans "Outils pour apprendre en groupe".

L'analyse d'un système existant est le point de départ de l'étude. Cette partie-constat aboutit à une mise en évidence des structures du système, des inter-actions des différents sous-ensembles. Un "modèle" sera construit compte tenu des spécifications du matériel choisi, il servira à faire les recherches de dysfonctionnements et/ou des modifications indispensables pour répondre aux spécifications d'un cahier des charges, et pour tester les solutions envisagées.

Un compte rendu de la "recherche", des extensions envisageables, rédigé en commun, permet de faire la synthèse des acquisitions réalisées.

Le public concerné

Il nous semble que le moment où l'enfant garde encore toute sa spontanéité, où la "pensée divergente" a encore toute sa puissance d'invention sans contrainte, se situe entre 11 et 13 ans, dans ce que nous nommons le Cycle d'Observation.

Cette période semble aussi la plus favorable à la constitution, et à la vie, de groupes d'apprentissage tels que les caractérise Philippe Meyrieu dans l'ouvrage déjà cité (p. 15) à savoir:

- Instauration d'un réseau de communication homogène entre les membres,
- Distribution des matériaux aux participants de telle manière que la réalisation du projet requière la participation de chacun,
- Organisation d'un mode de fonctionnement impliquant chacun dans la tâche commune en fonction de l'objectif que l'on entend lui faire atteindre.

Cette méthode de travail, commencée tôt dans la scolarité, pourra, par choix personnel, être poursuivie aussi longtemps qu'elle sera jugée profitable à chacun.

Dans le Cycle d'Observation, il nous a semblé nécessaire de prendre des élèves qui suivent des cours de technologie pour la deuxième année; en effet, pour travailler dans le temps prévu, il faut que les participants aient été initiés au travail sur micro-ordinateurs et aient la notion de "démarche de projet technique".

Enfin, quel matériel choisir et pourquoi?

L'observation que nous souhaitons réaliser porte essentiellement sur les attitudes et les comportements des enfants dans le cadre d'un projet. Cette observation sera facilitée si nous disposons d'un matériel, constitué d'éléments à assembler et de modules à fonction définie, qui permette de créer une réplique "modélisée" du système étudié. La construction d'une maquette à partir de schémas exprimés selon différents codes, la matérialisation d'un "système" mis au point par le groupe, doivent être facilitées par la mise à disposition de documents simples, précis.

La nécessité de fournir à chacun:

- une documentation importante, claire, d'un niveau de langage adapté aux élèves, pour la prise en charge du matériel et l'aide au travail en autonomie,

- un logiciel de conception simple, utilisant des primitives logiques, facilement compréhensibles, et intégrables dans un langage structuré, nous a amené à choisir le matériel LEGO, le logiciel LEGO LINES et ses annexes pédagogiques.

L'expérimentation

Le cadre général

Persuadés qu'une expérimentation n'a d'intérêt, à long terme, que si une généralisation est possible, nous avons délibérément placé notre expérimentation dans un cadre horaire raisonnable et surtout, nos objectifs généraux sont restés en cohérence avec ceux de la discipline.

Dans le temps, nous avons limité l'expérimentation à six séances consécutives de deux heures. Soit environ le dixième du temps d'enseignement prévu pour la technologie dans le cycle d'études de deux ans, ce qui correspond à peu près à l'importance attribuée à ce domaine d'études dans les textes officiels.

Le temps, attribué à ce travail, pourra être modifié en fonction de la contribution qu'il apportera au développement, chez l'enfant, des capacités de COMMUNIQUER, de S'INFORMER, d'ANALYSER, de SYNTHÉTISER, de CHOISIR, d'ORGANISER, de RÉALISER, d'ÉVALUER, de CONTROLER, qui correspondent à des objectifs généraux de formation humaine choisis parmi ceux de la discipline.

Nous y ajouterons la capacité d'IMAGINER des solutions, de les affiner jusqu'à ce qu'elles soient réalisables.

Les hypothèses

Sensibles à l'affirmation de L. Not (p. 271): "Un projet n'est éducatif que s'il implique la personne...", nous avons cherché à susciter un engagement personnel, individuel dans la phase de "bouillonnement d'idées" lors des propositions de solutions et de la mise au point d'un "modèle", de

responsabilité de chacun au sein d'un groupe, de "combativité" dans le "défi" lancé au groupe classe.

Le "bouillonnement d'idées"

Dans un projet technique, la phase pendant laquelle l'individu s'implique le plus est celle de la proposition, du choix, de la mise au point des solutions.

Or dans la plupart des projets techniques, menés en vue d'une fabrication, cette phase est presque obligatoirement orientée pour aboutir au choix de la solution retenue par l'enseignant en vue de préparer son dossier technique de fabrication. Ici, en revanche, l'utilisation du logiciel et des matériels permet de laisser libre cours à l'imagination de chacun, de laisser tester, sans risque, toute proposition de solution. L'enfant se trouve ainsi dans une situation non-habituelle d'apprentissage. Nous pourrons l'observer en un moment où il met en jeu des capacités personnelles souvent insoupçonnées, et où s'instaure une "relation pédagogique" d'un type nouveau.

L'utilisation, pour ce temps de créativité, d'un matériel composé d'éléments, de modules, qui oblige à imaginer, à structurer la maquette, semble essentielle.

La modélisation

Le passage constant de l'observation du réel, à sa représentation par une maquette (et vice-versa), oblige l'enfant à rechercher les fonctions essentielles du système qu'il étudie. Il crée ensuite un "modèle" qui, sans être une image du réel, possède des fonctions semblables. C'est sur ce modèle qu'il va "travailler", tester ses propositions.

Cette aptitude à "modéliser" un système, essentielle lors des études ultérieures, est rarement mise en évidence dès le cycle d'observation. Nous devons en profiter.

Responsabilisation et socialisation

Pour amener chaque enfant à émettre librement ses idées, à les défendre avec conviction, mais dans le respect de celles des autres, en essayant de les comprendre, nous avons choisi de mener l'expérimentation sur la base de groupes travaillant en autonomie. Chaque groupe de trois élèves étudie le "contrat" d'expérimentation, choisit sa démarche d'action, est responsable de la mise au point des conclusions de ses travaux. Cette responsabilité collective est assortie d'une responsabilité individuelle liée à la nécessité pour chaque participant de pouvoir, à tout moment, faire le point des travaux du groupe, et aussi au fait que l'évaluation finale est à la fois celle du groupe et celle de chaque membre du groupe.

Le défi

S'il est vrai que "Un projet n'est éducatif que s'il implique la personne", il nous fallait trouver un puissant sujet de motivation pour engager chaque apprenant personnellement dans cette expérimentation. Nous pensons l'avoir trouvé en lançant un défi à la classe sous la forme suivante :

> "Une firme nous prête, pour quelques semaines, du matériel, accompagné des logiciels et des documents techniques correspondants. En retour elle souhaite connaître notre avis sur les produits et surtout nous demande de chercher s'il existe ou non des erreurs dans l'ensemble des documents remis".

Le déroulement de l'expérience

Le collège choisi est situé en banlieue de la ville d'Amiens, en Z.E.P. La classe est d'un bon niveau scolaire. Les élèves ont déjà eu des cours de technologie l'année précédente. Le professeur est formé pour l'enseignement de cette discipline et a une bonne connaissance du matériel et de ses "annexes" pédagogiques.

L'expérimentation est présentée aux élèves comme il a été indiqué dans le paragraphe "Hypothèses", lors de la première séquence on explicite le "contrat" :

"L'ensemble du matériel nous est prêté pour six séances. En retour, il nous est demandé de mentionner si des erreurs ont été décelées, de signaler les explications jugées insuffisantes, et, plus généralement, d'indiquer toutes les réserves que l'on peut faire". Lors de la séance de synthèse, chaque groupe présentera ses observations. Un résumé de celles-ci rendra compte des remarques de l'ensemble de la classe.

On présente le matériel et la méthode de travail :

Chaque groupe de trois élèves dispose d'un poste de travail complet - micro-ordinateur, inter-face, boîte LEGO TECHNIC,... , et des documents qui s'y rattachent (Fiches élèves et Livre de Ressources).

Les membres du groupe doivent travailler ensemble, sans aide extérieure, en autonomie.

Le professeur n'intervient que SI ET SEULEMENT SI le groupe ne peut, en commun, trouver de solution au problème qui arrête son travail.

Cette méthode peut s'expliciter de la façon suivante :

- la fiche élève vous interroge, vous passez à la question suivante dès que vous avez su répondre,
- si vous ne savez pas, vous consultez le Livre de ressources, vous devez y trouver des éléments qui vous aident à répondre,
- si vous ne trouvez pas, alors, et seulement alors vous demandez à être aidé par votre professeur. Celui-ci, le plus souvent, vous indiquera comment vous servir efficacement du Livre de ressources, ou vous donnera des explications dans d'autres domaines, techniques ou généraux, pour vous permettre de continuer votre travail.
  SI d'autres explications complémentaires vous sont nécessaires, ALORS il y a un "manque" dans les documents dont l'objectif est de vous permettre un travail autonome.
  Il conviendra de le signaler.

Lors des quatre séances suivantes vous apprendrez à maîtriser le matériel, à comprendre et utiliser les primitives du logiciel LEGO LINES pour l'animation de montages, prévus ou non dans les fiches. Puis, après avoir choisi et étudié l'un des systèmes proposés dans les documents, vous imaginerez d'autres cas dans lesquels interviennent de façons semblables des "capteurs" d'informations et des "effecteurs" ou "actionneurs".

Lors de la dernière séance, ensemble, nous analyserons les résultats auxquels vous serez parvenus. CHAQUE MEMBRE DE CHAQUE GROUPE devra pouvoir expliquer la solution retenue par son groupe.

Ainsi, après avoir étudié le fonctionnement d'une maquette, construite d'après les indications des documents, vous allez comparer ce fonctionnement à celui du système réel que représente la maquette. Vous devrez ensuite:

- chercher des exemples équivalents,
- analyser l'un d'eux,
- délimiter le système étudié,
- établir un schéma fonctionnel,
- créer un modèle réalisable avec le matériel LEGO,
- imaginer des modes de fonctionnement, et
- les tester et enfin
- proposer des modifications.

Il serait intéressant, si vous en avez le temps, de présenter l'"histoire" de votre recherche en utilisant le logiciel "WORKS" dont vous vous êtes déjà servi.

Commentaires

Si le "défi" a joué son rôle d'implication personnelle lors de la première séance - les élèves ont effectivement cherché à trouver une "faille", une erreur, dans le système - très rapidement l'intérêt suscité par la recherche de la maîtrise du matériel a pris le dessus. La coopération entre membres d'un groupe, entre groupes, a fait progresser très vite l'ensemble des élèves.

Les phases d'acquisition de données "élémentaires" comme les branchements d'éléments, la mise en oeuvre des effecteurs, ont été très rapides. Trop parfois, et il a fallu faire des retours en arrière assez fréquents afin de consolider certaines connaissances.

Le rôle de "juge arbitre" incontesté joué par l'exécution du programme est à signaler. Parfois seul ce constat de "faisabilité" pouvait arrêter de trop longues discussions. Ce statut de "JUGE ARBITRE" attribué par l'apprenant à l'"ordinateur" devrait être étudié de façon plus approfondie, peut-être pourra-t-il être utilisé dans une stratégie de l'appréhension en autonomie des connaissances.

IMPLICATION et RESPONSABILITÉ INDIVIDUELLE ont été les moteurs de l'action de chacun.

Il nous faut signaler une difficulté à laquelle nous avons été confrontés en ce qui concerne la démarche suivie par les élèves. Nous avions pensé logique de demander :

1 - la description littérale des phases de l'action,
2 - sa transcription en Ecriture Littérale Structurée par l'utilisation des primitives du logiciel,
3- et/ou son expression sous forme d'organigramme ou de GRAFCET,
4- enfin, l'écriture du programme.

Or, nous avons observé que, souvent, la phase 2 était omise. L'élève imaginait le programme, le testait, puis revenait à la transcription en Ecriture Littérale Structurée avant d'exprimer le résultat sous forme d'organigramme ou de GRAFCET.

Le désir d'obtenir "vite" un résultat semble être à l'origine de cette façon d'agir. Pour s'en assurer, une analyse de cette démarche d'esprit fera l'objet d'une étude l'an prochain.

En conclusion...

Après la discussion à laquelle ont participé professeurs et élèves lors de la réunion de synthèse, il semble que ce qui a passionné les enfants, et a le plus contribué à la vie de groupe, a été la phase d'IMAGINATION des solutions possibles, puis celle de mise au point progressive de la solution choisie. (Il importe de signaler, dans cette phase, le rôle capital joué par l'usage d'un logiciel dédié dans les primitives simples, en accord avec le raisonnement des enfants). On note aussi que le dynamisme des groupes a été stimulé dès qu'il s'est agi, après étude des fiches, de trouver des systèmes différents de ceux proposés en exemple et que les acquisitions de notions en "robotique", de connaissances, ont été plus importantes que prévues, (et surtout qu'elles semblent bien maîtrisées).

La motivation importante des élèves se traduit par une demande de reprendre ce type de travail l'an prochain en lui donnant plus d'ampleur. Il pourrait s'agir de créer, en utilisant "WORKS", des fichiers sur des capteurs et/ou des effecteurs qui ont des fonctions semblables mais sont construits sur des principes différents; d'analyser, de filmer au camescope, des systèmes réels pour constituer une banque de données d'études; de fabriquer, lorsque cela est possible, la partie opérative mise au point ici sous forme de maquette...

En conclusion, faire une évaluation des acquis réels est toujours difficile, toutefois dans un domaine comme celui de la technologie, l'observation des attitudes des enfants pendant le travail et l'analyse des résultats obtenus lors de la réalisation d'une tâche peuvent nous servir d'indicateurs. Ici, indépendamment des tests classiques, l'implication réelle de chaque élève et aussi la maîtrise montrée par chaque membre d'un groupe pour faire agir le système construit, expliquer son fonctionnement, modifier les programmes lorsque sont changées les valeurs des variables d'entrée..., tout cela semble prouver que le travail proposé a pleinement contribué au développement des capacités fondamentales de l'enfant précédemment énoncées et profondément modifié le système de relations interpersonnelles à l'intérieur du groupe "classe".

Bibliographie

CARDINET, Jean. (1989). **Conférence devant les Inspecteurs Généraux de l'Éducation Nationale**. Paris, novembre.

DE LANDSHEERE, Vivianne et DE LANDSHEERE, Gilbert. (1984). **Définir les objectifs de l'éducation**. PUF Collection pédagogie d'aujourd'hui.

LEGO TECHNIC CONTROL. **Livres d'accompagnement pédagogique du matériel LEGO TECHNIC CONTROL**.

MEYRIEU, Philippe. **Outils pour apprendre en groupe**. Édition Chronique sociale, 7 rue du Plat 69002 Lyon, France.

NOT, Louis. **Où va la pédagogie du projet?**

POSTIC, Marcel. (1982). **La relation éducative**. PUF Collection pédagogie d'aujourd'hui , 2e édition.

LA ROBOTIQUE INTÉGRÉE À L'APPRENTISSAGE ET À L'ENSEIGNEMENT

Monique NOEL et Guy BERGERON
Commission Scolaire DES DÉCOUVREURS
Québec, Québec

Résumé

L'école devrait ressembler à la société. Hors de l'école, tout un monde de technologies nouvelles évolue et l'enfant a déjà compris que la société qui l'entoure lui fournit des services nombreux et complexes.

Utilisées comme outils pédagogiques, toutes ces technologies peuvent rendre un service majeur dans l'enseignement et jouer de multiples rôles dans l'éducation.

Devant ce besoin grandissant et inspiré des programmes, nous avons créé un environnement productif et provocateur, intégré à une classe d'enfants de 11-12 ans. Il est doté de jeux, de matériels techniques et d'ordinateurs.

Nous avons surtout choisi le processus d'intervention de l'enfant dans son milieu.

Comme éducateurs nous avons découvert à travers cet environnement particulier une vision nouvelle de la classe, une organisation inspirée du monde technologique, et une série d'activités collées à la société réelle, quotidienne, changeante et créatrice qui façonne et fascine les enfants de 1990.

Cap-Rouge, janvier 1990.

Après cinq années de réflexion, de recherches et de développement autour d'un environnement robotique intégré à la vie quotidienne d'une classe de 2ième cycle du primaire (CM), nous aimerions mettre en évidence quelques-unes de nos idées et montrer la faisabilité de réalisations intéressantes dans ce domaine à l'occasion du Congrès international francophone sur la ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE 1990, de Montréal (CANADA).

1. Notre présentation

Cinq directions de travail pourraient agrémenter notre séance de présentation.

«AGIR» sur l'environnement pour **«COMPRENDRE»**, **«RÉALISER»**, **«APPRENDRE»** et **«CRÉER»**.

Nous en ferons les descripteurs de notre présentation dont la procédure suivrait la démarche suivante:

- RÉFLEXION (principes); court exposé de nos croyances.
- APPROCHES (la pédagogie) et ACTIONS; explication et démonstration concrètes de nos interventions, de l'organisation de la vie de la classe et de nos outils.
- IMAGES de notre vécu (support de l'audio-visuel) et RÉALISATIONS (analyses et résultats, publications); présentation de documents écrits et d'un vidéo.
- INTER-ACTION; échanges.

Les objectifs de ce congrès s'inscrivent précisément dans les perspectives qui avaient motivé notre démarche au début de nos expérimentations et dont voici les principaux éléments.

2. Le contexte

"La réalité de l'école est souvent loin de celle vécue hors de l'école". Ce reproche adressé régulièrement à notre vécu scolaire nous a touchés.

Tout en voulant essentiellement provoquer des effets qui conduiraient à des situations plus stimulantes, à des interventions plus efficaces, nous avons été plus attentifs à la dimension *"organisation de l'environnement"*. Et c'est l'environnement robotique qui nous a paru comme un outil nouveau d'éducation qui viendrait compléter et stimuler notre intervention, provoquer des acquisitions nouvelles chez les jeunes et modifier notre réalité conservatrice.

Intégré au projet pédagogique et à la vie quotidienne de la classe, nous avons cherché à imaginer un milieu favorable dont l'utilisation effective, diversifiée, autonome et fortement investie d'un environnement robotique pourrait créer une dynamique par et autour de cet outil.

Un beau risque! ... Il fallait considérer qu'un tel environnement pourrait transformer le fonctionnement de la classe, modifier les acquisitions et remettre en question nos finalités ou carrément affiner notre relation et favoriser l'atteinte de convictions personnelles et profondes...

3. L'environnement

Nous avons donc imaginé un environnement dit "robotique". Malgré des moyens très simples, nous l'avons voulu attractif. Il est composé de matériels technologiques divers (ordinateurs, imprimantes, interfaces, modems, logiciels, caméra, vidéo, radio...), de blocs de construction emboîtables (Robotix, Construx, Légo, Fisher-Technics...) de matériel d'électricité (piles, ampoules, fils...) et de documents divers (cahiers de démarche pour Logo et robotique, fiches de travail, guides d'utilisation des différents matériels). La robotique en fait l'originalité. Nous sommes au primaire (9-11 ans)

4. La démarche pédagogique

Voici les étapes de notre démarche pédagogique:

- Analyse de la situation par un aperçu de la programmation. Nous avons choisi le langage LOGO pour expliquer le principe de

la programmation, découvrir des fonctions de déplacements et analyser la manière dont elles sont assurées.

- Proposition de montages électriques.
  À partir de ce travail, les enfants réalisent le fonctionnement et l'utilisation potentielle de l'électricité.
- Réalisation d'un robot piloté manuellement.
- Réalisation d'un robot automate piloté par l'intermédiaire d'une interface dont les commandes de déplacements se font à partir d'un programme (clavier) qu'ils ont élaboré selon le cadre d'un premier projet. On fournit alors quelques macro-primitives de commandes*. (*Une macro-primitive est une pseudo-primitive LOGO créée et programmée explicitement pour faciliter la communication entre l'utilisateur et la machine).
- Réalisation d'un second projet plus exigeant et toujours encadré. On intègre alors une ou des nouvelles macro-primitives.
- La même démarche conduit à d'autres projets ayant des exigences précises mais laissant largement place à l'imagination et à la créativité.
- Comme principal projet, on vise à investir l'ensemble des acquisitions précédentes.

Les activités sont offertes sur des fiches hiérarchisées et adaptées (La puissance du LOGO, Bergeron et Ouellet, 1984 et La Robotique adaptée, Bergeron, 1987) avec des consignes précises à partir desquelles l'enfant établit son plan. Des feuilles de travail préparées à cet effet lui permettent de décrire sommairement son projet (dessins et procédures), de choisir et préciser (énumérer et nommer) ses matériels avant d'expérimenter son projet.

5. L'organisation pédagogique

Lors de la journée de projets, les élèves sont réunis en groupes de travail. Nous proposons quatre activités par semaine, d'une heure environ chacune. Elles se vivent sous forme d'ateliers et elles touchent toutes les disciplines qui se prêtent à cette formule. Les projets de LOGO

et de robotique (électricité au début) sont les plus fréquents et aussi les plus populaires.

Chaque groupe participe par rotation aux ateliers. Les enfants ne choisissent pas toujours les thèmes, mais leur liberté peut s'exprimer dans leurs productions, leurs créations, leurs réalisations et leurs moyens; chaque sous-équipe (1-2 ou 3) poursuit l'objectif proposé à son rythme et selon ses choix (goûts). Seuls des objectifs d'apprentissages précis et proposés par les programmes d'étude sous-tendent nos propositions et une fiche descriptive est exigée; c'est notre façon d'assurer le soutien et le suivi.

6. La robotique et l'apprentissage

Tout en offrant un contexte spécifique et nouveau genre nous avons ressenti un climat d'apprentissage qui entretient la motivation, suscite la créativité active et répond à des besoins nouveaux. Aucune machine ne peut travailler en équipe et remplacer l'homme. Par contre si vous travaillez en équipe la machine peut compléter votre travail, fournir et recueillir des informations, aider à la réalisation, etc...

Les activités suscitées par un tel environnement sont innombrables. L'enfant peut résoudre des problèmes qui reflètent sa vie quotidienne et c'est à des activités de ce genre qu'il fera face toute sa vie. Les apprentissages qui se dégagent sont significatifs. Il en est aussi plus créatif et plus productif parce que les habiletés développées sont transférables: capacité d'analyse, d'interrogation, de synthèse... qui ne s'oublient pas.
(Des rapports et un guide sont déposés au M.E.Q. et au centre A.P.O. Québec)

7. La robotique et les programmes

Après maintes réflexions et de nombreux ajustements, nous sommes en mesure d'observer que notre démarche autant que notre environnement s'inscrivent à l'intérieur d'une stratégie d'intervention qui s'ouvre largement sur les programmes du primaire.

Le champ des exemples qui pourraient permettre d'appuyer les interventions en classes spéciales ou d'enrichir les orientations actuelles pour les étudiants doués serait encore plus vaste si on s'y mettait.

8. La robotique et les objectifs de formation

Il est clair qu'il n'est pas illusoire d'utiliser un tel contexte. Souvent nous avons identifié des objectifs de formation générale des programmes du primaire, atteints par les activités qui se greffent aux projets élaborés par les élèves.

9. Conclusion

Ailleurs au Québec notre expérimentation présente un intérêt réel qui a déjà commencé à trouver une expression dans de nouveaux projets. Pourquoi ne pas élargir cette interrogation pédagogique?

Note: La réalisation de ces projets a été rendue possible grâce à la collaboration de la C. S. des Découvreurs, du Centre Québécois de Recherche sur les Applications Pédagogiques de l'Ordinateur (APO QUÉBEC) et du Ministère de l'Éducation du Québec.

L'équipe était principalement composée de Monique Noël, professeure et initiatrice du projet, de Guy Bergeron, chercheur et du directeur de l'école, J. E. Michel Tremblay. Plusieurs collaborateurs s'y sont joints périodiquement selon les intérêts.

UNE ÉCOLE À VOCATION SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE.

Pierre NONNON
Laboratoire de Robotique Pédagogique
Centre d'Innovation Apple Canada*
Université de Montréal

Andrée GAGNON
Directrice, École Hébert
Commission scolaire Ste-Croix

Résumé

Il s'agit ici de rendre compte de l'implantation d'une activité de robotique pédagogique dans une école primaire de la Commission scolaire Ste-Croix à Montréal. Dans cette école, qui s'est donnée une vocation scientifique et technologique, nous avons réalisé une collaboration intéressante entre les chercheurs de l'Université de Montréal et les intervenants du milieu.

We discuss the implementation of pedagogical robotics in a Primary School located in the St Croix local board of Education. Science and Technology are particularly developped in the school's curriculum. Interesting forms of cooperation between local teachers and University of Montreal research fellows also emerged from the project.

Afin de favoriser une plus grande implication et une meilleure identification des élèves à leur école, les écoles à vocation spécifique aménagent leur régime pédagogique de manière à proposer en complément du programme officiel des activités ayant principalement pour mérite de

---

* Ce projet a été supporté financièrement par la Fondation Apple Canada.

regrouper des élèves autour d'un thème central, le plus souvent à vocation artistique, comme la musique ou la danse. C'est un projet d'école impliquant l'ensemble des élèves, les professeurs et les parents.

La direction de l'école Hébert, en collaboration avec le Laboratoire de robotique pédagogique de l'Université de Montréal, a conçu son projet d'école en se donnant une vocation originale, axée principalement sur une initiation précoce des élèves aux sciences et à la technologie.

Le but essentiel étant, comme pour les autres projets à consonnance plus artistique, de changer l'attitude des élèves vis-à-vis l'école et l'apprentissage des matières académiques, le défi a été de réunir autour de la robotique pédagogique un ensemble d'activités à caractère scientifique et technologique qui permette à l'ensemble des élèves d'atteindre ces objectifs.

La robotique et le contrôle de procédés physiques par ordinateur sont, selon nous, les technologies de pointe les plus directement accessibles à l'élève à cause de leurs caractères opératoire et "antropomorphique". Celui-ci peut s'engager créativement dans la conception, la construction et la mise à l'essai d'objets robotisés, visualiser directement les actions de ces objets et ainsi se les représenter aisément pour en comprendre le fonctionnement. C'est à partir de cette compréhension fonctionnelle qu'il peut planifier les actions de son objet robotisé de même qu'anticiper ou prédire des actions non prévues avant de concevoir des programmes originaux propres à faire exécuter des actions projetées de cet objet robotisé. Pour une description spécifique du projet, voir Nonnon et Langlois (1990).

Cette démarche en action a été testée au Laboratoire de robotique pédagogique avec des activités comme l'anticipation et la programmation des déplacements d'un "tank" ou des activités d'une mini-usine. Elles ont été mises à l'essai à l'école St-Jean (1985-86) puis au Centre sportif de l'Université de Montréal avec des élèves du camp d'été en 1986 et 1987. Marthe Langlois a testé l'activité de La Ronde avant que celle-ci ne soit introduite à l'école Hébert avec l'aide de Joël Laplanche.

changement même qui est en jeu, et ceci, de par le fait que pour transformer il faut ou bien nier la viabilité de l'état actuel des choses, ou bien la mettre entre parenthèses.

C'est dans cette conjoncture que prend tout son sens l'apparition d'un mouvement de restructuration productive d'inspiration syndicale, laboriste. Mais ici, il faut constater un vide, un manque d'initiative qui a caractérisé les syndicats sur le terrain de la transformation des processus de production. Les travailleurs et leurs syndicats ont été littéralement secoués par la restructuration des entreprises. Le seul réflexe qui les a accompagnés jusqu'à la fin des années 80 -et ceci n'est pas exclusif du Mexique mais peut être appliqué un peu partout dans le monde, à l'exception peut-être des pays de l'Europe nordique (5) - a été la défense des droits acquis. Ce type de stratégies centrées davantage sur la prudence défensive que sur l'audace constructive ont accaparé l'attention des travailleurs alors que s'inaugurait une période d'expérimentation managériale.

Ce n'est que jusqu'à la fin de la dernière décennie que l'on voit apparaître dans l'horizon syndical quelques signes qui montrent le besoin de participer dans le mouvement de restructuration économique. Mais alors le problème qui se pose est d'une complexité qui ne fait que croître avec l'avancement de la réorganisation productive. La question se pose alors de savoir si stratégies, tactiques et discours propres de la lutte traditionnelle sont suffisants pour construire un projet de transformation de la production à partir des syndicats. Que peut-on opposer aux nouvelles formes d'organisation du travail groupal concrétisées, par exemple, dans les "cercles de qualité" ou dans d'autres schémas d'organisation productive? Est-ce la flexibilité un projet patronal bien délimité et, dans ce cas, ne reste-t-il alors que s'opposer à son implantation?

2. Construire la qualification, disputer le savoir

Un des éléments clés pour la réussite des nouvelles formes d'organisation du travail est celui de la structure du savoir productif nécessaire pour le développement des nouveaux marchés et des nouvelles

technologies. Ceci touche tous les niveaux de la hiérarchie des entreprises. Autrement dit, le problème de la restructuration du savoir productif s'étend au-delà des tâches directement liées à l'opération technique et affecte les fonctions de planification et conception propres du management. C'est dire que la possibilité d'une nouvelle distribution de la "masse qualificationnelle" est maintenant ouverte et que s'installe ainsi une dispute au sein de l'organisation pour gérer ce processus de distribution des connaissances.

Mais, dans cette perspective, ce qui devient intéressant c'est qu'en même temps que l'on essaie de construire une nouvelle structure des qualifications il faut mettre en oeuvre un ensemble de critères qui, à leur tour, exigent des savoirs spécifiques permettant de réaliser les choix organisationnels. Ce double processus de destructuration crée, par là même, un espace d'indéfinition propice à l'avancement de projets alternatifs.

Le besoin patronal de flexibiliser les processus productifs ne peut tout de même pas oublier le critère de la minimisation des coûts. Ainsi, l'introduction des nouvelles technologies oblige à trouver une opération optimale en limitant au minimum indispensable la formation des travailleurs qui seront responsables du fonctionnement du système. Mais alors, où peut-on situer ce minimum de formation? Que doit-on comprendre par optimisation de la construction du savoir productif? Quels sont les chemins qui pourront être signalés pour la division du travail?

C'est ainsi que s'installe la lutte autour de la construction de la qualification post-fordiste. Les travailleurs restent éblouis par la spectacularité des nouvelles technologies, auxquelles on attribue des pouvoirs qui dépassent bien souvent leurs possibilités réelles, et ils n'arrivent pas à formaliser leurs demandes de formation au-delà de la défense de leur emploi. Les gestionnaires, eux, hésitent à aller à contre-courant de la traditionnelle division du travail et essaient d'en conserver, autant qu'ils le peuvent, les traits fondamentaux. Deux tendances sont alors à identifier:

- Celle qui va dans le sens d'une spécialisation polyvalente,
- Celle qui essaie de réaliser une "intégration verticale" dans une zone délimitée du processus.

Pour ce qui est de la spécialisation polyvalente, il s'agit d'élargir la zone d'intervention du travailleur par une augmentation du nombre de postes de travail, soit à contrôler, soit à être capable de tenir. L'organisation en groupes, par exemple, pousse l'entreprise à pourvoir le travailleur d'une formation qui intègre les connaissances propres de chacun des postes qui font partie de l'espace du groupe. Dans le cas de l'intégration verticale, la restructuration vise à établir un travailleur qui puisse devenir responsable de certaines fonctions traditionnellement en pouvoir de la maîtrise: contrôle d'ordonnancements de production, surveillance et gestion d'un nombre déterminé de données comptables et de productivité, programmation de l'utilisation des machines... Dans ces deux cas, il ne s'agit pas purement et simplement d'une augmentation de la charge de travail, mais d'un rapport différent avec une technologie nouvelle qui permet cet "élargissement" des responsabilités.

Le rapport à la technologie est donc crucial; la flexibilité propre des nouveaux automatismes ouvre un champ de possibilités organisationnelles dans la conception des emplois. L'intégration automatique des opérations productives, des fonctions d'entretien et de programmation productive transforment les nouveaux emplois centrés sur le traitement d'information et sur le dépannage, ainsi que sur l'alimentation du système.

Mais prendre la voie d'une spécialisation polyvalente ne fait que résoudre des problèmes du court terme. Tôt ou tard, l'entreprise se voit confrontée non pas tant à l'opération de la technologie en place mais au problème du changement technique lui-même; l'accélération du taux de transformation technologique met en avant les capacités de toute organisation d'assimiler et de conduire le processus de changement technique. Aussi, lorsque l'on parle de "cercles de qualité", on devrait mettre l'emphase sur la logique du déclenchement imaginatif qui en est sous-jacente. Le savoir productif qui va dans le sens d'une pleine flexibilisation est alors un savoir qui est le promoteur de la mutation

technologique, de la transformation de la productivité, et de la planification des marchés. Il s'agit en fait d'un nouveau rapport à la technologie et à la science. Un rapport non pas de soumission mais de maîtrise, de souveraineté du travailleur.

Ce n'est pourtant pas à ce type de formation auquel pensent les managers, tout d'abord par le fait de l'inertie associée à la pratique de la formation professionnelle traditionnelle et, ensuite, à cause du rapport contradictoire entre la gestion du temps d'apprentissage et la gestion du temps productif.

3. Mobilisation pour une nouvelle culture technique

Ceux qui ont cru que la sortie à la crise pouvait partir d'un pari purement technologique doivent accepter aujourd'hui qu'il faut aussi faire preuve d'un grand effort pour la mobilisation productive de la force de travail. Cet effort fait appel à l'imagination organisationnelle de façon à conduire d'importants contingents de travailleurs à des niveaux d'implication majeurs dans les processus de production. Cette implication passe, bien sûr, par une réelle motivation et participation des travailleurs dans le devenir des processus de production mais, pour cela, il faut répondre à une condition sine qua non, celle de la construction de la qualification du travail adaptée à cette nouvelle étape de l'industrialisation.

Les syndicats doivent concevoir des sorties à leur propre crise de participation, en transformant eux-mêmes le contenu des revendications. Lutter autour de la restructuration du champ de la qualification oblige à se situer dans les deux domaines fondamentaux de la qualification du travail: celui des systèmes nationaux d'enseignement technique et scientifique et celui des processus de formation professionnelle liés à la politique des entreprises et à la pratique productive de la force de travail. Jusqu'à présent, la plupart des organisations des travailleurs se sont limitées à demander "l'adéquation" de la force de travail syndiquée aux nouvelles conditions d'emploi (6). Pour eux, il s'agit avant tout de défendre le niveau de l'emploi et cet objectif ne permet pas de se soucier du problème de la nature du nouveau savoir productif mobilisé. Face à

celui-ci, les syndicats se sentent déprotégés dans leurs capacités d'analyse. Et aujourd'hui, par exemple, on ne peut pas affirmer avec autant d'assurance qu'il y a quinze ans que "la source du savoir est en rapport direct avec le contact avec la matière" ou que "la recherche de la productivité se base sur la séparation plus grande de la partie manuelle et de la partie intellectuelle du travail" (7). L'hypothèse d'un mouvement permanent qui mènerait vers une polarisation entre la "déqualification" et la "requalification" du travail devrait être révisée à la lumière des processus de réorganisation productive. Que signifie aujourd'hui le "contact" avec l'objet du travail? Quelle est la "matière" dans les processus informatisés? Et enfin, lorsque l'on est en face des automatismes flexibles, qu'est-ce que cela signifie la "partie manuelle" du travail?

Les travailleurs et leurs organisations se trouvent actuellement dans un moment privilégié. Le capital a besoin d'une mobilisation productive de la force de travail d'un type différent à celui qui a caractérisé les années de croissance économique. Les travailleurs sont les seuls à décider de leur <u>pleine</u> implication productive, c'est-à-dire de l'identification des objectifs productifs de l'entreprise et de leurs <u>aspirations productives</u> en tant que travailleurs. C'est un moment propice pour faire apparaître un rapport différent au travail. <u>S'impliquer</u> dans le processus productif équivaut à <u>s'approprier</u> le processus productif. Les entreprises ont besoin d'une <u>meilleure qualité</u> dans leurs produits et cette nouvelle qualité ne peut être le résultat que d'une croissante identification de la force de travail avec son objet et avec son moyen (son instrument), ce qui veut dire: <u>mobilisation permanente des capacités productives de la force du travail</u>. Pourtant, les patrons et leurs managers ne sont pas nécessairement prêts à admettre qu'il en est ainsi. L'histoire de l'entreprise est en grande partie une histoire de la croissance et sophistication de son niveau administratif (cadres, maîtrise, chefs de bureau, ...). La crise de la production est aussi la crise d'une certaine hiérarchie et la lutte pour la "réforme hiérarchique" ne fait que commencer. Pour cette raison, les managers préfèrent mettre en oeuvre des politiques qui visent à "stimuler" la participation mais qui essaient de laisser intacte les cimentations du pouvoir hiérarchique. Ceci est vrai pour la restructuration des emplois et des postes de travail, mais aussi pour le nouveau partage du savoir

productif. Il ne s'agit bien souvent que "d'élargir" le champ de connaissances mises en pratique et non pas tant de "l'approfondir". C'est toujours l'approche de l'opération technologique qui résiste à laisser sa place à celui de la compréhension technologique.

Ainsi, les travailleurs et leurs syndicats auraient devant eux un champ de possibilités constitué par la redéfinition du savoir technique lié à la mobilisation productive de la force de travail. Ensemble, ils pourraient opposer des projets qui puissent faire accéder les travailleurs à un nouveau stade de "culture technique". Pour cela, les syndicats ont besoin de s'appuyer à leur tour sur d'autres types de technologies, celles des processus de production de savoir. Il s'agirait de faire le passage du stade de l'opération technique vers celui de la production technologique. C'est tout le champ stratégique de l'apprentissage et de l'appropriation des connaissances qui est en jeu ici.

Il faut pour cela s'armer d'instruments précis qui donnent accès à la formulation des voies alternatives pour la formation professionnelle. Il faut changer le contenu de la revendication qualificationnelle: il ne serait plus question d'information mais "d'initiation à la science". Cet objectif n'est certainement pas facile à atteindre. Plusieurs questions surgissent alors: quel est le rapport optimal entre la gestion du temps productif (monopolisé par les patrons) et la gestion du temps d'apprentissage (objet de dispute permanente entre patrons minimalistes et travailleurs maximalistes)? Comment s'y prendre pour mobiliser des travailleurs, c'est-à-dire des adultes, pour l'investissement de leur temps dans une formation qui va au-delà des désirs et besoins immédiats, même si l'on accepte le point de vue de Laborit selon lequel "on ne fera pas d'un manoeuvre, par la grâce du marxisme, un découvreur, même s'il atteint le stade d'ouvrier spécialisé en suivant des cours du soir, qu'il n'aura aucun goût spontané à suivre sans doute. Le cinéma, la télévision, le PMU sont pour lui plus attirants" (8)? Comment traduire l'appropriation d'un savoir productif nouveau en revendications situées dans d'autres domaines (salaires, conditions de travail, loisirs, ...)?

Dans ce sens, les nouvelles technologies pédagogiques basées sur la simulation assistée par ordinateur et, en particulier, la "robotique pédagogique", représentent un instrument intéressant qui peut être mis en rapport avec les politiques de construction des nouvelles qualifications du travail.

Le savoir productif qui est en jeu dans la restructuration de l'entreprise de cette fin de siècle est avant tout un savoir en rapport avec les "sciences dures". En effet, gérer le changement technique suppose une familiarité avec les sciences physiques et, en particulier, avec les mathématiques, la physique et la chimie. Or, les travailleurs ont un rapport avec la science qui ne dépasse pas le niveau de la manipulation de certaines manifestations des phénomènes. Il faudrait rappeler aussi que, tout au moins au Mexique, on devient ouvrier ou travailleur manuel par voie d'échec: ou bien on n'a pas accès au système d'enseignement post-secondaire par manque de moyens économiques, ou bien on est expulsé du système par échec, et alors on est "marginalisé" dans les emplois ouvriers ou du marché informel. Il s'agit donc, dans la majorité des cas, d'une main d'oeuvre peu enthousiasmée par l'acquisition d'une connaissance située au-delà de la sphère de l'application immédiate.

Il est intéressant alors de savoir que la robotique pédagogique part du renversement du rapport traditionnel, dans l'enseignement des sciences, entre le concret et l'abstrait (le théorique). Cette proposition qui intègre d'une manière originale le double cheminement de la connaissance, inductif-déductif, peut ainsi tenter de frayer le chemin vers un nouveau type de qualification polyvalente. On pourrait ainsi induire un niveau de "potentiel polyvalent" dérivé de la capacité de s'approprier l'instrument du travail.

Enfin, il y a peut-être dans cette proposition pédagogique des formes de gestion du temps d'apprentissage qui devraient se mettre en rapport avec le "budget du temps global du travailleur" ainsi qu'avec celui des entreprises.

Il faut souligner aussi que, comme dans n'importe quel autre champ scientifique -la pédagogie n'avait pas de quoi faire une exception-, la méthode proposée par la "robotique pédagogique" se trouve en concurrence avec d'autres technologies pédagogiques. Son succès dépend, en plus de ses qualités techniques, des moyens mis en oeuvre pour sa diffusion, des caractéristiques politiques de ses clients potentiels, des possibilités techniques du contexte pour stimuler son développement.

J'avance, dès maintenant, que le champ syndical a ici un support très riche dans sa lutte pour instaurer un nouveau rapport social à la science et à la technologie. Mais ce n'est là qu'une possibilité.

4. Notes

1 - FERRE-MASIP, Rafaël (1989). **La Fabrica Flexible**. Boixerau Éds, Barcelona.

2 - HOLLARD, Michel (1987). "La automatizacion del mecanizado en Dinamarca, Francia y la Republica Federal de Alemania". Dans **Sociologia del Trabajo**, no 1, Nueva Epoca, otono, pp. 19-32.

3 - Voir par exemple l'ouvrage de FREYSSNET, Michel (1977). **La division capitaliste du travail**. Éditions Savelli, Paris.

4 - FIEDMAN, Georges (1946). **Les problèmes humains du machinisme industriel**. Éditions Gallimard, Paris.

5 - OJEDA, Antonio (1989). "Sindicalismo europeo: su crisis, sus alternativas". Dans **Sociologia del Trabajo**, no 6, primavera, pp. 51-77.

6 - Ceci est applicable à la grande majorité des syndicats au Mexique indépendamment de leur base idéologique.

7 - FREYSSNET, Michel (1977). **La division capitaliste du travail**. Éditions Savelli, Paris. Ou bien BRAVERMAN, Harry (1979). **Trabajo Monopolista**. Éd. Nuestro Tiempo, Mexico. Pour ne mentionner que les ouvrages qui sont devenus classiques.

8 - LABORIT, Henri (1970). **L'homme imaginant**. Christian Bourgois Éd. Coll. 10-18, no 468, Paris, page 33.

RÉSUMÉ DE LA RÉUNION PLÉNIÈRE ET RÉFLEXIONS SUR NOS PRATIQUES DIDACTIQUES EN ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE

Bernard DUBREUIL
Secrétaire
Université Concordia

RÉSUMÉ DE LA RÉUNION PLÉNIÈRE
Vendredi 24 août 1990, 14h-16h30

1. La proposition de Martial Vivet

Pour lancer le débat, Martial Vivet nous a proposé quelques idées. Il a regroupé ses remarques sous deux chapitres (matériels et démarche pédagogique) et nous a vivement encouragé à ne pas nous limiter, dans nos réactions, à ce qu'il allait nous dire.

1.1 Les matériels

1.1.1 Fonction didactique:

Y a-t-il transfert de connaissances? Comment se fait le passage entre jouer au LEGO et utiliser une cellule flexible au travail? Puisqu'il s'agit d'une pédagogie de contrat, comment vérifier que le contrat a bien été rempli?

1.1.2 Le robot objet de type réel:

Gare à la robotique : " Tant qu'un gars n'a pas mis les pieds dans les copeaux, on ne peut pas dire que l'on a formé un menuisier". Mais une question se pose: Où est la différence entre simulation sur écran et simulation "physique"?

1.1.3 Contrôle par ordinateur:

Les robots pédagogiques sont des périphériques non-standard, dédiés à des apprentissages. On va donc trouver des relations avec les disciplines scolaires (par exemple le concept de flexibilité en automatismes) ou bien avec des démarches transdisciplinaires (par exemple la démarche expérimentale).

1.2 La démarche pédagogique

En robotique pédagogique la démarche peut être caractérisée, entre autres, par:

- une logique de la construction des connaissances par l'apprenant, avec relativement peu de transfert d'information au sens traditionnel du terme,
- une logique centrée sur l'élève (la "robotique des enfants"),
- une logique d'exploration assistée/autorisée par ordinateur,
- une logique inductive, allant du particulier au général,
- une logique du projet, où la socialisation des connaissances est une des retombées importantes.

2. Premier temps de la discussion

Les premières réactions ont consisté en différents commentaires sur la proposition de Martial Vivet. Quelqu'un nous a fait remarquer qu'un tryptique «matériels, démarche pédagogique, logiciels en robotique» permettrait mieux de cerner l'ensemble des problèmes. Martial en est bien d'accord: il aurait mis la discussion sur les logiciels dans son point sur le "contrôle par ordinateur", mais qu'importe... On remarque aussi le lien entre "pédagogie de projet" et "logique de construction des connaissances par l'apprenant": il s'agit de construction de connaissances à l'occasion de leur explicitation dans un projet. On remarque enfin que les chapitres ne sont pas disjoints: les matériels font déjà partie de la démarche pédagogique.

Un pas s'accomplit encore avec la redéfinition du domaine de la robotique pédagogique. Regroupons ici les co-domaines évoqués au cours

de la discussion:

- automatismes, planification et didactique de l'informatique industrielle,
- sciences expérimentales et didactiques des sciences expérimentales,
- interdisciplinarité et robotique des enfants.

À travers cette diverstité courent sous des noms différents des choses assez voisines: à différents degrés du cycle des études, ce qui était "logique de l'exploration" au Primaire peut devenir "apprentissage de la méthode expérimentale" au Secondaire, et ce qui était "socialisation des connaissances" au Primaire peut devenir "apprentissage du travail d'équipe" en atelier flexible.

Enfin, Normand Pinet nous a fait remarquer qu'au début de l'EAO les congressistes étaient à 90% des informaticiens; puis petit à petit sont arrivés les didacticiens de toutes sortes de disciplines. Pour lui, en robotique pédagogique, actuellement, on utilise plus le robot pour enseigner SUR les robots (les automatismes, l'informatique, industrielle ou non) qu'on ne les utilise pour enseigner AVEC eux n'importe quelle autre discipline.

Ces quelques ajustements étant faits, la discussion s'engage et va porter surtout sur les différents aspects de la démarche pédagogique.

3. Le passage du concret à l'abstrait

On reviendra souvent sur ce point au cours de la discussion.

Martial Vivet et Pierre Nonnon rappelèrent la démarche globale: partir du concret pour aller vers l'abstrait.

On vise, nous dit Martial Vivet, "à faire acquérir une algèbre des signes, un outil formel d'expression de la pensée mais à partir d'un vécu dans un monde tri-dimensionnel". Contrairement à l'enseignement traditionnel des mathématiques où l'on part, nous dit Pierre Nonnon, de l'équation algébrique pour aller vers sa représentation graphique et

finalement (parfois) vers les phénomènes physiques régis par l'équation, en robotique pédagogique, on part du phénomène physique, on en donne une représentation graphique sur écran , en temps réel pour que le lien se fasse bien entre l'événement et sa représentation, et ce n'est qu'en fin de parcours que l'on passe à l'équation algébrique qui exprime la loi du phénomène.

Amener l'élève à raisonner avec des outils mathématiques relève de l'art de la conviction, et cet art commence avec ce que l'élève sait le mieux observer et contrôler au départ: les événements matériels dans notre monde tri-dimensionnel.

L'accord sur cette thèse centrale était général. Mais Pierre Nonnon, en bon provocateur, est venu pimenter la sauce par une image frappante: Tout ce passe, nous dit-il, comme si la robotique "physique" procédait a une lente élimination d'elle même: l'élève évolue vers la capacité d'utiliser de mieux en mieux la simulation d'écran. Le contact avec la réalité devient moins primordial au fur et à mesure que les descriptions mathématiques de cette réalité sont mieux maitrisées.

4. Robots d'écran, robot réels et tri-dimensionnels

Martial avait soulevé le point dans son résumé de départ.

Pierre l'évoqua au detour d'une formule provocatrice, mais ce fut Gilbert Paquette qui aborda franchement le problème: la simulation d'écran nous permet, mieux que la simulation par robots réels, de multiplier le nombre d'expériences , et de faire varier les données. De plus les vrais robots sont plus chers. Mais il précise bien: il ne faut pas opposer robots "réels" et "virtuels" en eux-mêmes, mais les étudier et les employer par rapport aux connaissances qu'ils permettent de développer.

Généralisant son propos, il indique qu'il faudrait prendre le temps de caractériser dans le détail les connaissances que l'on peut s'attendre à développer avec tel ou tel robot, qu'il soit réel ou qu'il soit un robot d'écran. Selon les logiciels, on peut imaginer une extension de la

démarche inductive, qui prend du concret quelque part, et du calculé d'autre part. C'est à une complémentarité des deux qu'il faudrait sans doute songer.

5. Logique centrée sur l'usager

Plusieurs orateurs se sont attardés sur cette question.

Paul d'Amour souligna que la robotique pédagogique répondait à deux types de préoccupation: créer des robots pour répondre à un besoin académique bien sûr, mais surtout créer des stratégies pour que les usagers puissent répondre à leur propres besoins.

Et ces besoins varient énormément en fonction du milieu culturel, nous dit Enriqué Velasco Sanchez. On aurait trop tendance à aseptiser le contexte. Entre des ouvriers du technique et des ouvriers des mines, déjà, ce n'est plus la même chose. Cette variable est bien aussi importante que l'outil lui-même.

Mr Joly insiste à son tour sur l'importance de tenir compte du milieu économique de l'élève. André Megel nous dit aussi que le robot est devenu indépendant de la stratégie pédagogique qui va l'employer. On peut se centrer sur l'usager en "ouvrant" plus ou moins les logiciels. Au départ ils étaient contrôlant, mais cela a bien évolué.

Martial Vivet souligne que les degrés de liberté les plus sensibles s'exercent au niveau du projet: c'est la définition du projet va mettre en pratique la dimension micro-sociale. La pédagogie de projet permet l'adaptation au public.

6. Transfert et évaluation du transfert

Martial avait posé la question d'entrée de jeu: les connaissances acquises en situation d'apprentissage sont-elles transférables aux situations professionnelles?

La discussion se centre sur le rôle de l'animateur de formation. Ce qui est important, nous dit Martial Vivet, c'est de bâtir chez les usagers la conviction que ce qui est vrai pour tout un lot d'expériences locales est également vrai pour tout un lot de situations professionnelles qui auront lieu ailleurs. Là encore il s'agit d'un art de la conviction, pour faire faire le lien entre micromonde et monde. Il faut choisir les bons outils, les bonnes stratégies, les bons objectifs, ceux pour lesquels l'échelle à laquelle on travaille n'est pas un problème, ceux pour lesquels l'animateur peut faire varier le degré de guidage et le degré d'initiative des usagers.

Dans la séquence d'apprentissage, Daniel Marchand souligne d'ailleurs que le robot adopte différents rôles: lors de sa construction il sert à faire découvrir les connaissances, lors de son utilisation, il sert à les structurer, à les simuler, et à les mémoriser en les exerçant sur plusieurs exemples. Le transfert s'opère d'abord par un aller-retour entre entre Connaissance et Action, puis de proche en proche, de telle action à telles autres actions relevant des mêmes connaissances.

C'est là que Martine Chomienne demande où, comment, et quand, ont été mesurés ces transferts? Et la robotique pédagogique offre-t-elle des outils meilleurs que ceux qui existent déjà?

Petite inquiétude dans la salle... Pierre répond métaphoriquement: dire si X est meilleur que Y, c'est comme de vouloir comparer cheval et locomotive! On n'a pas abandonné le train parce que le cheval avait couru plus vite au premier essai. Et Martial Vivet de renchérir par un proverbe chinois: "Il n'y a pas besoin de savoir pondre un oeuf pour savoir s'il est frais". Et Pierre Nonnon d'enchaîner: "Laissez nous inventer nos prototypes et les améliorer petit à petit. Il y en aura des bons, il y en aura des mauvais; on ne sait pas trop encore où l'on va mais c'est plutôt une bonne chose car cela permet de développer la créativité. Le travail est profitable, et l'enthousiasme des élèves est notre meilleure garantie". Pierre ajoute que d'ailleurs les chercheurs en Robotique Pédagogique ne sont pas forcément les mieux placés pour évaluer l'impact de leur travaux sur l'enseignement dans un cadre général... Et l'on sentit passer sur la salle le vent des conflits culturels entre pionniers-défricheurs et

décideurs-arpenteurs, où chacun à son tour a tout à fait raison de son propre point de vue: oui, il faut bien innover sans entraves, oui il faut bien des résultats pour décider.

La suite au prochain congrès!

7. La remise des décorations

Comment oublier la cérémonie qui suivit la discussion?

Comment oublier la remise des lunettes cognitives?

Version 3D, bien entendu. Martial Vivet offrit à Pierre Nonnon deux sortes de lunettes garanties cognitives:

- l'une pour servir de paille en trempant une branche dans son verre et en aspirant le liquide à travers l'autre branche (toutes les deux creuses, comme on l'aura deviné!)
- l'autre en modèle réduit, pour porter en sautoir.

J'atteste que, bientôt 2 mois plus tard, Pierre porte encore fièrement ses lunettes à la boutonnière!

ENSEMBLE DE RÉFLEXIONS
SUR LE 2ÈME CONGRÈS DE ROBOTIQUE PÉDAGOGIQUE
Université de Montréal - Août 1990

Bernard DUBREUIL
Université Concordia

1. Point d'entrée

Je suis venu à ce colloque parce que je connaissais les gentils organisateurs, certains conférenciers et conférencières, parce que j'avais le temps et parce que je suis curieux de nature.

Je n'ai jamais fait de robotique pédagogique, ni comme élève, ni comme enseignant, ni comme chercheur. Je m'occupe de vidéo interactive, et d'hypermedia en général.

Mais j'ai déjà vu des tortues de plancher, des constructions en LOGO LEGO, ou en Fisher TechniK, des pendules, des ascenseurs, des bras articulés, des bancs à coussin d'air transformés en périphériques d'ordinateurs, et même des fauteuils roulants à entrée vocale, que ce soit en France, en Angleterre, aux USA, au Québec, en Hongrie et même en Bulgarie... Je me suis fait une définition naïve de la robotique à travers ces différents contacts. C'est tout de même peu, pour se permettre d'écrire et d'infliger aux vrais spécialistes les quelques pages, bien informelles, qui vont suivre.

J'ai une bonne excuse: Martial Vivet me les a demandées! Et si moi, flatté, je ne sais pas encore pourquoi il me les a permises, je me dis que lui, en tout cas, doit bien le savoir!

2. Définition naïve

Ma définition naïve d'un robot pédagogique est la suivante:

robot pédagogique = modèle réduit programmable, avec capteurs et/ou effecteurs.

On peut dire cela plus simplement: un émetteur-récepteur qui bouge; un truc en 3D qui réagit à des commandes par un mouvement soit de sa totalité (déplacement au sol) soit d'une seule de ses parties articulées; un truc qui peut aussi transmettre (au programme qui le contrôle) de l'information toute fraîche ramassée par ses capteurs; et cette information porte soit sur les états propres au robot, soit sur l'état du monde qui l'entoure (température, présence d'un obstacle, vitesse...).

Et si je dis "modèle réduit" c'est parce que j'ai vu des maquettes, tortues, grues, ascenseurs et autres appareils dont la taille était réduite par rapport à ce qui peut exister dans le domaine industriel. Cette taille convenait à l'objectif d'usage du robot (la vraie grandeur n'était pas nécessaire) et allait de pair avec la taille des budgets qui les avaient fait naître (budgets "pédagogiques"!).

3. Interrogations, suite au colloque

Après ces trois jours de colloque, qui m'ont beaucoup appris, je me pose des tas de questions, en particulier sur les points suivants:

- Définition du domaine de la robotique pédagogique.
- Les outils informatiques en robotique pédagogique.
- Les directions de recherche qui me plairaient bien.

3.1 Le domaine

Si on définit le domaine par ses praticiens, voici ce que j'ai vu:

3.1.1 J'ai vu des physiciens didacticiens parler de robots pédagogiques en désignant des instruments de laboratoire devenus périphériques bi- directionnels.

Un usager au clavier émet un ordre (lacher quelque chose qui va rouler, tomber, glisser...). L'ordinateur récupère des valeurs x, y ou z en provenance de n capteurs pendant une durée de temps t.

L'activité de l'usager est un des moments de l'apprentissage d'un chapitre, (ou sous-chapitre...) de la physique scolaire. Cela peut être pour vérifier une théorie deja connue des élèves (c'est souvent le cas), ou pour les amener à la redécouvrir (c'est bien plus difficile). Les deux voies sont possibles et sont indépendantes des robots eux-mêmes.

J'ai compris qu'il était plus facile de faire n observations en une heure de TP avec ces robots que de les faire sur des instruments non reliés à un ordinateur, et j'ai compris que la même machine qui contrôlait le robot-instrument offrait des services en représentation graphique en temps réel, des services de mise en mémoire et de stockage sur disquette, d'impression et de transmission (...) services bien commodes, liés à la présence de l'ordinateur.

3.1.2 J'ai entendu des automaticiens didacticiens parler de maquettes (modèles réduits) et de planification, de flux coordonnés de matière, d'information et d'énergie aboutissant à des états finaux de transformation de matière correspondants à des "produits".

À certains noeuds de ces maquettes-réseaux se trouvaient les robots qui étaient chargés, en consommant de l'énergie, d'effectuer les transformations de matière selon les flux d'informations qui leur parvenaient.

Travail de planification, de coordination de tâches, de gestion de projet, pour lequel la maquette servait de champ de simulation, avec les mêmes services bien commodes pour la formation que ceux évoqués plus haut: n plans à l'heure, mise en mémoire, stockage, impression, etc...

Les robots ne servaient pas à faire de la physique, mais bien à transformer de la matière pour aboutir à des produits. Pas de robots qui soulèvent d'autre robots pour les laisser tomber par terre tout en calculant leur accélération!

Si il y avait prise de données sur l'extérieur, ce n'était pas pour étudier cet extérieur, ou les propriétés de la matière en mouvement dans cet univers extérieur, c'était pour mieux contrôler la transformation de cette matière.

Y avait-il une théorie du commandement à vérifier ou à redécouvrir? Non.

Y avait-il une progression pour que l'élève parvienne à une théorie du commandement en remontant des effets aux représentations graphiques et des représentations graphiques aux équations algébriques régissant les effets? Non plus.

Y avait-il un langage du commandement à apprendre? Oui. J'y reviendrai.

3.1.3 J'ai vu des didacticiens de la technologie emprunter à la physique et à l'électronique (électricité, résistances, ...), et emprunter aussi à la partie capteurs des automatismes, pour faire construire à leurs élèves toutes sortes "d'interfaces", avec beaucoup d'ingéniosité et bien peu de moyens financiers.

Pas d'effecteurs en trois dimensions, mais des diodes qui s'allument et qui permettent de vérifier des lois physiques. Pas de planification de tâches pour produire, mais de la gestion de flux d'information et d'énergie.

J'ai vu un enseignant qui écrit ses programmes didactiques en Basic, des étudiants qui passent du fer à souder à l'ordinateur où ils observent les résultats graphiques des évènements qu'ils provoquent.

J'ai vu un formateur de maîtres faire des emprunts aux automatismes et à l'informatique industrielle pour bien mettre en relation concepts et parties d'automates programmables: information et partie commande, énergie et partie opérative, communication et interfaces..., ou bien pour mettre en relation les diverses parties de la machine à commandes numériques: partie commande et interface de communication, interface de puissance et partie opérative. J'ai vu également deux enseignants montrer les avantages du langage Grafcet pour exprimer les tâches à effectuer sous forme d'un diagramme d'états et de transitions.

La technologie m'est apparue comme une "discipline interdisciplinaire" où le robot pédagogique pouvait être aussi bien un simple capteur, que toute une machine-outil, et où l'objet de l'apprentissage pouvait être un langage de représentation de tâches (purement informatique ou spécialisé comme le Grafcet), un chapitre de la physique, encore plus largement la résolution de problème, le ravail en équipe, ou la démarche de l'ingénieur. Je rapprocherais volontiers de la technologie la robotique pratiquée à l'école Jonathan et à l'école Hébert: approche multidisciplinaire où le robot est un projet que l'on élabore et réalise avec amour, qui dispose de capteurs et d'effecteurs que l'on contrôle avec un langage, objet d'apprentissage incontournable.

Conclusion bien simple: les bras de la robotique pédagogique sont largement ouverts!

Sur l'axe "transformation de la matière", la robotique pédagogique se rapproche du travail industriel et de sa division en tâches. Sur l'axe "étude du mouvement", elle se rapproche des travaux de laboratoire qui ont le mouvement pour objet, et elle en adopte la méthode expérimentale. Les robots sont alors des instruments de laboratoire, devenus périphériques d'ordinateur.

Entre ces deux pôles, étude du travail et étude du mouvement, la technologie fait son chemin original et multidisciplinaire.

3.1.4 Reste l'axe "facilitation du mouvement humain", où la robotique s'adresse à l'usager handicapé dans sa vie de tous les jours, au travail, à la maison, à l'école. Les robots sont alors grandeur nature et l'ingéniosité des concepteurs consiste à transformer en des mouvements efficaces les "contacts" établis par tout ce qui peut encore bouger chez la personne handicapée. Le contact (établi par exemple par une licorne frontale appuyant sur une touche) est interprétée par des programmes aux objectifs les plus divers: contrôle de l'environnement (ouverture de porte... déplacement du fauteuil), ou apprentissage par l'usager d'un des codes de communication adapté à son handicap particulier: Braille, langage de signes ou langage de pictogrammes...

Leur raison d'être n'est d'étudier ni la vitesse, ni l'accélération, ni la planification, ni l'électronique, ni l'informatique. Leur objectif n'est pas de transformer la matière pour en faire un produit, mais bien de transformer les mouvements limités de la personne handicappée en un travail sur son environnement ou bien en un message selon le seul code qu'elle peut partager avec ses interlocuteurs...

Mouvement, flux, déplacement, planification de flux sur des maquettes-réseaux, je m'aperçois que je viens de toucher un dénominateur commun: les robots pédagogiques facilitent, simulent ou provoquent le mouvement. S'ils le provoquent c'est que le mouvement est plutôt en lui-même un objet d'étude (physique). S'ils le simulent c'est que ce mouvement fait plutôt partie d'une planification de tâches. S'ils le facilitent c'est que les mouvements personnels de l'usager... ont grand besoin d'être facilités.

Question à mille points: pourquoi n'avons-nous pas vu d'enseignants d'histoire, de géographie, ou de langue, à ce colloque?

Parce que c'est le deuxième du genre et que le domaine est encore entre les mains de ses grands fondateurs qui sont des automaticiens didacticiens de l'informatique et des automaticiens didacticiens de la physique?

Parce que l'on a pas dans toutes les disciplines le même besoin d'étudier ou de planifier le mouvement?

La physique l'étudie, les automatismes l'organisent, et la technologie dans sa version "fabrication d' interfaces sans effecteurs" se concentre sur les flux d'information et d'énergie, sans transport de matière.

Pourtant, il y a bien une espèce de "mouvement" et d'espace" ou de "temps" dans les langues: verbes de mouvement, démonstratifs, prépositions ou adverbes de lieu... Faire bouger des robots pour "effectuer le sens" de certains mots?

Les enseignants d'histoire et les géographes n'auraient-ils jamais besoin de déplacer des modèles réduits dans l'espace pour mieux comprendre certains de leurs sujets d'étude?

S'agirait-il d'un manque d'imagination de leur part?

D'un manque de connaissances sur les possibilités actuelles de la robotique pédagogique?

Ou serait-ce que les robots et leur langage de commande sont trop compliqués à maîtriser, et que les bénéfices pédagogiques escomptés ne valent les efforts de formation à consentir pour bien savoir les utiliser?

Et si c'était la définition du domaine, centrée sur les flux d'information, de matière et d'énergie, qui était réductrice en elle-même?

Où trouver une application qui englobe la plupart des directions citées (technologie, informatique, électronique, automatismes...), et qui ouvre des horizons nouveaux pour des usages nouveaux?

3.1.5 C'est ici que la M.A.O. de Maurice Bélanger et Jean Baptiste Lapalme fait son entrée théâtrale. La MAO? La Marionnette Assistée par Ordinateur! Vous trouvez le jeu de mot un peu facile? Disons "théâtre de marionnettes à commande numérique" (TMCN), si vous préférez!

Quel qu'en soit le nom, il s'agit d'une véritable maquette multi-tâches, servant à délivrer un produit qui est ... un spectacle. Et comme monter un "show" est en soi une activité pluridisciplinaire, ce type de robotique peut être rattachée soit à la technologie et à la robotique des enfants, soit à la planification de tâches.

Une équipe de production d'un show peut réunir des élèves informaticiens, et électroniciens tentés par l'aspect informatique-et-automatismes du projet. Mais elle réunit aussi ceux qui comme à l'école Jonathan ou à l'école Hébert ajoutent une dimension de jeu, de plaisir et de coopération à tout l'apprentissage.

Mais la Mao peut rassembler aussi des usagers provenant de disciplines cette fois-ci bien nouvelles. Lesquelles?

Comme le côté constructiviste est étendu à l'élaboration d'une histoire rassemblant tous les automatismes, l'équipe peut s'étoffer avec des élèves de français ou de langues étrangères, ou d'histoire (...) selon ce que vont dire les personnages assistés par ordinateur. La robotique devient un médium pour l'apprentissage de toutes les disciplines qui "tiennent un discours", toutes les disciplines dont l'objet d'apprentissage est un discours.

On pourrait sans doute écrire des dialogues de marionnettes sur tel ou tel point d'astronomie, tel ou tel point de physique ou même de robotique, mais la pente naturelle est sans doute plutôt de faire un spectacle où le discours à tenir entretient un rapport très privilégié avec l'objet d'apprentissage, comme dans le cas des langues, maternelles ou étrangères.

Apprendre à parler anglais, allemand, espagnol, japonais... en concevant des pièces de théâtre où des marionnettes disent ce qu'auront écrit et prononcé les auteurs! Apprendre à parler en concevant des histoires avec des personnages qui bougent dans un décor qui bouge! Cela enrichirait diablement la panoplie des opérations intellectuelles demandées aux élèves de langue! Cela les amènerait à concevoir de véritables situations d'énonciation; cela les feraient jouer avec l'émotion et le plaisir particuliers que provoque la communication gestuelle, non verbale. Avec des mots qui font rire, des actions qui émeuvent, des gestes qui surprennent, des éclairages et des musiques qui enchantent, les robots, littéralement, serviraient de véhicules au sens. Et dans tous les sens du mot "sens": sens des déplacements, sens de la vue et de l'ouïe stimulés par le spectacle, et sens des mots et des gestes eux-mêmes...

Un projet de MAO permettrait de coordonner le travail de plusieurs métiers liés au théâtre (aux noms ici bien sexistes): décorateur, régisseur, metteur en scène, écrivain, compositeur. Le théâtre de marionnettes a sa taille physique normale, les marionnettes ont leur taille normale, la langue a sa taille normale, la musique a sa taille normale...

L'astuce, et elle est monumentale, consiste à être parti d'une culture établie, le théâtre de marionnettes, et, sans rien en perdre, d'avoir réussi à en automatiser les tâches contraignantes et répétitives.

Avec seulement quelques gestes et quelques mouvements les marionnettes traditionnelles pouvaient déjà tout dire! La répétition des gestes (coups de bâton du Gendarme sur Guignol, ou de Punch sur Judy) fait elle-même déjà partie du genre! Et les contraintes de mouvements sur la scène font également partie du genre!

Avec la MAO, la robotique pédagogique est non seulement en quête d'élèves en technologie, en informatique ou en automatismes, mais aussi en quête d'élèves de français, de langues étrangères, et bien au-delà, d'élèves attirés par toutes les professions du théâtre. Avis aux amateurs: la MAO est aussi en quête d'auteurs! Musique et paroles, qui sont actuellement sur bandes magnétiques, pourrait aussi bien être sur disque

compact lu par lecteur de CD-ROM, ou sur disque dur; ceci laisserait le champ à d'autres développements créatifs: composition musicale et régie numérique pour transformer, mixer, et agencer voix et musique.

En résumé: j'ai trouvé 5 sortes de robotique scolaire à ce congrès:

1- La robotique médium d'étude du travail automatisé (des automatismes, de l'informatique industrielle). Capteurs et effecteurs sont toujours présents sur des robots qui sont là pour effectuer un travail aboutissant à un produit.
2- La robotique en sciences expérimentales: souvent plus de capteurs que d'effecteurs, importance de la représentation graphique des signaux captés, apprentissage en même temps de la méthode expérimentale.
3- La robotique constructiviste, de la maternelle aux classes de technologie du secondaire. L'interdisciplinarité est alors essentielle. Conduite d'équipe, initiation au "génie des processus" par la pratique et par le jeu sont des cotés importants. Le robot est avant tout un montage avec effecteurs et/ou capteurs. Il obéit à un langage de commande qui est parfois (LOGO) objet de l'apprentissage, parfois (Basic) transparent pour l'élève utilisateur.
4- La robotique pour personne handicapée. Les robots alors sont des dispositifs qui permettent de communiquer avec des interlocuteurs qui sont soit des machines (pour contrôler l'environnement) soit des humains, handicapés ou non. Capteurs et effecteurs sont toujours présents.
5- La robotique-spectacle. Elle s'adresse aux amateurs des catégories 1 et 3 ci-dessus, et étend son domaine potentiel à toutes les disciplines où la dramatisation (la mise en acte) d'un discours peut être l'occasion d'un apprentissage. Capteurs et effecteurs règlent les mouvements des personnages des éclairages ou des décors. Les paroles ne sont pas synthétisées mais enregistrées sur magnétophone.

3.2 Les outils informatiques en robotique pédagogique

Ce qui m'a frappé dans ce que colloque c'est l'absence d'outils de développement de type hypermédia. Il en existe en assez grand nombre sur le marché actuellement: HyperPad, Toolbook, ou Linkway pour les compatibles IBM, Hypercard, Supercard, Plus, etc. pour les Macintosh, CanDO et Amiga Vision pour l'Amiga, et j'en passe. Ils peuvent servir aussi bien à écrire des didacticiels que des simulations, à contrôler des vidéo-lecteurs ou les lecteurs de CD-ROM qu'à recevoir (sur une voie RS 232) et a interpréter des signaux venant de différents capteurs.

Dans les applications que j'ai vues à ce congrès les outils de développement étaient des langages informatiques: LOGO , BASIC, PASCAL ou C.

Pourquoi?

Une première réponse pleine de bons sens est que ces langages convenaient tout à fait à ceux qui les employaient, permettant d'atteindre les deux objectifs les plus cités:

- saisir et afficher sous forme graphique des données en provenance de capteurs,
- ou bien piloter des effecteurs (moteurs, bras ou mini chars d'assaut!).

Une deuxième réponse est que les environnements de type Hypermédia sont très gourmands en mémoire et qu'ils nécessitent des processeurs rapides, donc d'autres machines et d'autres budgets que ceux qui ont été cités. Quand on peut faire ce que l'on veut avec un Apple 2, et quand en plus, de toute manière, les budgets scolaires imposent des achats modestes, chercher autre chose pourrait passer pour du masochisme!

Une troisième réponse est Linkway et Toolbook, et les autres, ne sont apparus sur IBM que très récemment (1989), comme d'ailleurs sur Macintosh, les boîtiers d'interface disponibles sur le marchés.

Mais, dans les laboratoires de recherche, pourquoi rester en dehors de mouvements qui sont sensibles depuis quelques années déjà dans de nombreuses autres applications pédagogiques de l'ordinateur?

Quels mouvements?

- Le mouvement vers des interfaces "conviviales". Sans chercher à définir ces "interfaces écran-utilisateur" (comme on les appelle aussi) citons quelques-unes de leurs caractéristiques les plus visibles: commandes iconiques de navigation, menus déroulants, zones de saisie transparentes placées par dessus des graphismes ou des images, gestion de sons, d'images fixes ou animées, multi-fenêtrage, désignation de commande ou de données par un clic sur la souris...
- Le mouvement vers les langages ou les systèmes orientés-objets.
- Le mouvement vers des environnements où l'on peut passer très vite, et pour le même prix, du rôle d'auteur à celui d'usager, et de celui d'usager à celui d'auteur.
- Le mouvement vers des environnements où les auteurs n'ont pas besoin d'apprendre à écrire des instructions dans un langage de programmation, et peuvent soit emprunter et copier des blocs de code tout faits lorsqu'ils en ont besoin, soit compter sur la génération automatique de scripts simultanément à leurs manipulations directes d'objets graphiques sur l'écran.

Peut-être est-il vain de se demander pourquoi ces outils là n'étaient pas présents au congrès, une fois bien établi que les objectifs des auteurs étaient atteints avec leurs outils propres. Mais il me vient à l'esprit deux raisons, qui sont peut-être complètement fausses mais que je lance à titre d'hypothèses:

- La robotique pédagogique (1 et 3) fait volontairement passer les élèves par l'apprentissage d'un langage informatique. Supprimer cet apprentissage? Faire du LOGO LEGO sans LOGO? Pour les "Logoistes" l'enfant est un co-chercheur, un constructeur-testeur, qui teste en même temps son robot et son programme. "On a changé notre chien-robot à peu près 20 fois et au fur et à mesure qu'on le construisait on

réussissait à le faire" disait un élève de l'école Jonathan dans l'étude pilotée par le Centre APO. Il me semble qu'il y a là une raison vitale d'éviter les environnements qui suppriment la programmation: les allers-retours entre construction de commandes et construction de robots sont tout simplement souhaités et voulus. Ils sont considérés comme éminemment pédagogiques. Observation des effets (mouvement de la tortue) et observation des causes (programme de commande) vont de pair. Supprimer le côté programmation ce serait supprimer une partie essentielle de l'objectif pédagogique.

- La robotique pédagogique (1 et 3) s'est installée fermement dans une philosophie du "3D réel". Comme disait Martial Vivet: "La tortue de plancher plutôt que la tortue d'écran". Ou encore: "L'ébénisterie ne s'apprend pas avec un rabot d'écran!"

Insister sur l'importance de l'amélioration manuelle des robots-maquettes en trois dimensions, tant par les enfants, que par les adultes, revient assez naturellement à ôter un peu de son importance à ce qui peut se passer sur l'écran de contrôle de ces mêmes robots-maquettes. Comme c'est la chose en 3D réel qui intéresse, et non pas la chose simulée sur écran, une interface écran-utilisateur très dépouillée, faciles à concevoir en LOGO ou en BASIC, est bien suffisante.

Ainsi l'objectif de faire programmer, et celui de faire toucher et construire des objets réels se rejoignent pour ... rendre non pertinents toute une série d'efforts pour faire disparaître la programmation sous le tapi fleuri de l'écran, d'efforts pour que l'écran soit à la fois l'espace d'affichage, l'espace de commande et l'espace de travail.

En insistant sur le rapport au réel, et sur le pilotage des robots réels par des programmes écrits par les usagers, on a peut-être perdu de vue que le "virtuel" avait fait, ailleurs, bien des progrès.

Il y aurait sans doute des manières de piloter les robots qui ôteraient aux auteurs certains soucis de programmation et qui rendraient bien plus faciles aux usagers l'expression des commandes.

Par exemple, pourquoi ne pas repartir du protocole d'étude de Pierre Rabardel, et du problème soulevé par Maurice Bélanger mais cette fois à partir d'une "commande sur écran graphique"?

Maurice Bélanger faisait remarquer qu'il est difficile de prédire correctement comment va se déplacer la pince d'un robot car il ne nous est pas naturel de penser en terme de déplacement angulaire: nous voyons bien le mouvement de notre main, qui lui est linéaire, mais pas celui de nos os qui, (comme les éléments de bras robot) se déplacent par variation des différents angles qu'ils peuvent former entre eux.

On pourrait étudier si un déplacement de curseurs sur des "axes d'écran", représentant les dimensions X Y et Z, permettrait aux étudiants de prédire avec plus d'exactitude, et à plus court terme, les déplacements effectifs d'un bras robot.

Plutôt que de déplacer linéairement des curseurs sur des axes d'écran, puis de valider pour émettre la commande, on pourrait même éviter ces étapes somme toute assez peu "naturelles" dans la formulation de la commande et offrir à l'usager de piloter angulairement le bras directement: avec la souris il pourrait abaisser ou relever telle ou telle partie du "bras d'écran graphique", faisant varier un angle à chaque fois; ceci actionnerait en même temps un bras réel d'un robot réel. Pour l'usager, la démarche à suivre ne serait pas plus difficile que celle adoptée sur l'interface écran-utilisateur du Mac ou de Windows lorsque l'on met un fichier à la poubelle: ici, on cliquerait sur élément de bras, on "tiendrait cliqué", on "tirerait " et on "relâcherait " lorsque l'angle serait le bon.

3.3 Directions de recherche

J'aimerais bien voir venir, par pure curiosité, des résultats de recherche dans les directions suivantes:

3.3.1 Avantages et limites des robots d'écrans et des robots réels dans l'apprentissage.

Exigence forte: Qu'est-ce que l'on ne peut apprendre que sur simulateur d'écran? Qu'est ce que l'on ne peut apprendre que sur robot réel?

Exigence un peu moins forte: Qu'est-ce que l'on apprend pour moins cher, en moins de temps, ou mieux, avec un simulateur d'écran, qu'avec un robot réel? Et réciproquement? Comment peut-on articuler le passage d'un simulateur d'écran à un robot réel? Est-ce mieux qu'ils soient disponibles ensemble, ou en succession?

3.3.2 Avantages et limites des interfaces écran-utilisateur de type hypermédia pour commander des robots réels.

Dans l'industrie comme à l'école, le pilotage doit être facilité pour éviter les erreurs. Oui ou non, les actions sur écran (où la main de l'usager déplace ou déforme des objets graphiques de manière analogue au déplacement ou au mouvement désiré pour le robot) sont elles plus faciles et plus efficaces que les interfaces où l'on frappe au clavier des valeurs numériques?

3.3.3 Avantages et limites des interfaces écran-utilisateur de type hypermedia pour concevoir, et mettre au point et commander des robots d'écran.

Supprimer la partie programmation par instruction, pour la remplacer par une programmation par assemblage d'icônes correspondant à des fonctions (comme avec "Authorware Professional", entre autres) permet-il d'atteindre les mêmes objectifs? D'autres objectifs?

Supprimer la partie construction du robot 3D réel pour la remplacer par la construction d'un robot d'écran par assemblage d'objets graphiques (auxquels seraient attachés, tout faits, les scripts régissant leurs mouvements) permet-il d'atteindre les mêmes objectifs? D'autres objectifs?

Enfants et adultes peuvent-ils maîtriser les concepts fondamentaux du design de robots (capteurs, effecteurs, interfaces de commande, interfaces de puissance ...) en agençant sur écran des objets graphiques qui représentent ces concepts?

3.3.4 Avantages et limites des robots interactifs. Les robots interagissent avec leur ordinateur de commande: ils émettent des données vers l'ordinateur et reçoivent des commandes venant de l'ordinateur.

Je pense à un type d'interactivité qui se situerait entre le robot et l'usager.

Pour dire métaphoriquement les choses: au colloque je n'ai pas serré la pince des robots que j'ai rencontrés. Je n'ai pas échangé de messages significatifs avec des capteurs embarqués sur les robots. J'aimerais voir des études sur les robots réagissant à des signaux humains captés par leurs "oreilles", par leurs "yeux" ou par leur "peau".

J'ai vu, en photo, un seul robot interactif au sens où je l'entends ci-dessus: quand on l'embrassait (c'est-à-dire quand était coupé le champ de la cellule photo électrique placée dans sa "bouche") son coeur s'allumait en rouge! Cette voie, inventée par une élève de Jonathan, prolonge le plaisir de la construction et du test par celui de la relation avec le robot lui-même.

Nous avons tous été attendris par l'enfant qui a pensé et construit le robot qui se laisse embrasser. Mais nous n'en pensons pas moins que le robot qui devient jouet favori, "electronic pet", n'est pas vraiment sérieux! Pourquoi cette réticence? Est-ce parce qu'il n'y a plus rien à apprendre une fois que le robot est construit? Est-ce parce qu'il n'est pas sérieux de jouer, d'échanger avec le robot?

Je formule seulement la question générale suivante: est-ce que l'interaction humain-robot, en plus de l'interaction humain-ordinateur, a un intérêt pédagogique? Si oui lequel? Si non, pourquoi?

4. Dernier mot

Ai-je stimulé votre imagination, éclairé vos propres perceptions de la robotique pédagogique, ou irrité votre rationalité?

Merci, O spécialistes, d'être allé au bout de ces quelques pages... d'un candide qui vous veut du bien.

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
PUBLICATIONS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'ÉDUCATION
VICE-DÉCANAT AUX ÉTUDES SUPÉRIEURES ET À LA RECHERCHE

Les Publications de la Faculté des sciences de l'éducation visent principalement la diffusion de travaux de recherche réalisés par les professeurs, les étudiants et les équipes de recherche de la Faculté.

Un des intérêts des Publications réside dans le fait qu'elles constituent un lieu unique de diffusion de travaux de différents genres qui ne peuvent pas facilement être publiés soit chez un éditeur à cause de leur caractère spécialisé, soit dans des revues savantes à cause de leur dimension trop considérable. Les ouvrages parus dans les Publications se regroupent en cinq collections différentes: Rapports de recherche, la Revue Repères, Actes de Colloque, Prix Jeanne-Grégoire et la Collection spéciale.

RAPPORTS DE RECHERCHE

Cette collection comprend des rapports de recherche, subventionnée ou non, qui se présentent en général sous la forme de monographie. Les rapports peuvent présenter les résultats finaux d'une recherche ou encore le texte préliminaire d'un rapport final. Le nombre de pages considérable alloué à ces rapports permet de fournir une étude approfondie des questions traitées.

ALLAIRE, Carole; BRUNELLE, Louise et PELLETIER, Guy (1985). Nouveau-Départ: un bilan. Rapport de recherche no 012, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 312 pages.

Épuisé

ARCHAMBAULT, Jean; BRUNET, Luc et GOUPIL, Georgette (1984). Directions d'école et enseignants face au stress: le rôle du climat organisationnel dans l'anxiété. Rapport de recherche no 011, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 68 pages.

4,00$

BARRET, Gisèle (1986). Essai sur la pédagogie de la situation en expression dramatique et en éducation. Rapport de recherche no 025, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 194 pages.

Épuisé

BOURRET, André et PELLETIER, Guy (1985). Fragment d'une histoire de l'éducation au Québec. Rapport de recherche no 018, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 169 pages.

Épuisé

BRASSARD, André (1984). Le projet éducatif: plan d'action ou idées de l'école. Imprimé par la Commission scolaire de St-Exupéry, 55 pages.

Épuisé

BRASSARD, André (1984). S'approprier la réalité de l'école: IODRE (Instrument pour observer et décrire la réalité de l'école). Imprimé par la Commission scolaire de St-Exupéry.

Épuisé

BRASSARD, André; BRUNET, Luc; CORRIVEAU, Lise et PÉPIN, Richard; MARTINEAU, Georges (1986). Les rôles des directions d'école au Québec: 2ième partie. L'exercice des rôles et l'efficacité organisationnelle. Rapport de recherche no 021, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 268 pages.

13,00$

BRUNET, Luc; BRASSARD, André; CORRIVEAU, Lise et PÉPIN, Richard (1985). Le rôle du directeur d'école: 1ère partie. Rapport de recherche no 017, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 165 pages.

Épuisé

BRUNET, Luc et GOUPIL, Georgette (1983). Enseignants et directions d'école face à l'intégration scolaire des enfants en difficulté. Rapport de recherche no 002, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 90 pages.

Épuisé

BUTEAU, Paul-Henri et PELLETIER, Guy (1985). Les services scolaires pour les élèves handicapés visuels... Le point de vue des parents. Rapport de recherche no 020, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 125 pages.

Épuisé

CHENÉ, Adèle (1989). La formation et les personnes âgées. Principes et pratiques. Rapport de recherche no 032, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 126 pages.

9,00$

CHENÉ, Adèle et FLEURY, Marie-José (1990). La dimension relationnelle de la formation des personnes âgées. Rapport de recherche no 034, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, Université de Montréal, 108 pages.

9,00$

CHENÉ, Adèle et PAINCHAUD, Gisèle (1988). Vieillissement et formation reliée à l'emploi. Rapport de recherche no 024, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation Université de Montréal,163 pages.

10,00$

COMEAU, Michelle et GOUPIL, Georgette (1984). Le statut sociométrique d'enfants désadaptés socio-affectifs et en trouble d'apprentissage intégrés dans des classes ordinaires. Rapport de recherche no 007, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 75 pages.

5,00$

COMEAU, Michelle et GOUPIL, Georgette (1985). L'intégration des enfants désadaptés socio-affectifs au primaire. Rapport de recherche no 016, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 107 pages.

6,00$

d'ANGLEJAN, Alison; PAINCHAUD, Gisèle et VINCENT, Diane (1982). Acquisition du français par un groupe d'immigrants asiatiques. 86 pages.

Épuisé

DUPONT, Chantal; LA ROCQUE, Gabriel et THIVIERGE, Renée (1985). La télévision et les jeunes. Rapport de recherche no 014, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 284 pages.

Épuisé

DUPUIS, Philippe; BRUNET, Luc; BOURRET, André; LAVOIE-STE-MARIE, Pierrette; ST-GERMAIN, Pierre et TRINH THI, Tuyet (1988). Le mitan de la vie et la vie professionnelle des directions d'école du Québec. Rapport de recherche no 031, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 190 pages.

12,00$

DUPUIS, Philippe; BRUNET, Luc; HAMEL, Marie-Josée; LAVOIE-STE-MARIE, Pierrette et ST-GERMAIN, Pierre (1985). Le mitan de la vie et la vie professionnelle, partie 1. Rapport de recherche no 019, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 253 pages.

Épuisé

DUPUIS, Philippe et DION, Jean-François (1982). La formation pratique en milieu universitaire. Rapport de recherche no 001, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 270 pages.

Épuisé

FARINE, Avidgor (1981). La perception des employeurs des liens qui existent entre la formation et l'emploi. Rapport de recherche no 2, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 137 pages.

Épuisé

FARINE, Avidgor (1985). Les liens entre la formation et l'emploi: l'exemple de la RFA. Rapport de recherche no 013, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 62 pages.

4,00$

FOTINAS, Constantin (1981). Le Café-École vers une libération systémique de l'acte d'apprendre. Rapport de recherche no 1, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 75 pages.

Épuisé

GAGNON, Marc et OUELLET, Valmont (1984). De l'atelier à l'école. Une étude sur la formation des maîtres de l'enseignement professionnel. Rapport de recherche no 010, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 120 pages.

7,00$

GAUDREAU, Jean (1983). Enquête sur les connaissances des adolescents montréalais. Rapport de recherche no 006, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 123 pages.

Épuisé

GAUDREAU, Jean (1984). L'acquisition des connaissances chez l'adolescent. Sept rapports de recherche. Rapport de recherche no 008, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 106 pages.

6,00$

GAUDREAU, Jean et CANEVARO, Andrea (1980). L'éducation des personnes handicapées. Hier et aujourd'hui. Rapport de recherche no 035, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 240 pages.

18,00$

GOUPIL, Georgette et COMEAU, Michelle (1983). Étude exploratoire sur l'intégration de l'élève désadapté socio-affectif. Rapport de recherche no 005, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 120 pages.

7,00$

HACHÉ, Jean-Baptiste et CRESPO, Manuel (1989). Avec la collaboration de Claude BOULARD. Austérité budgétaire et gestion dans les universités québécoises: Stratégies, conséquences et prospective. Rapport de recherche: Problématique et description des variables. Rapport de recherche no 033, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 210 pages.

13,00$

LAMBERT R., Nancy, collaboration: BERNHARD, Paulette et PAGOLA, Grecia (1991). Répertoire mondial des collections et des fonds d'archives de l'art des enfants. World Directory of Collections and Archives of Children's Art. Rapport de recherche no 036, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 198 pages.

16,00$

LEFEBVRE, André (1986). Marie-Victorin éducateur. Rapport de recherche no 026, Éditions Guérin et Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 203 pages.

10,00$

LEMOYNE, Gisèle et TRÉPANIER, Louise (1985). Connaissances et habiletés en mathématiques des élèves en adaptation scolaire. Rapport de recherche no 015, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 131 pages.

7,00$

McANDREW, Marie (1986). Études sur l'ethnocentrisme dans les manuels scolaires de langue française du Québec. Préface de Claude LESSARD. Rapport de recherche no 028, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 206 pages.

12,00$

MORIN, André (1986). La recherche-action en éducation: de la pratique à la théorie. Rapport de recherche no 022, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 350 pages.

Épuisé

NONNON, Pierre (1988). Laboratoire d'initiation aux sciences assisté par ordinateur. Rapport de recherche no 023, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 146 pages.

8,00$

PELLETIER, Guy (1982). Des garderies, des garderies... Rapport de recherche no 000, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 90 pages.

Épuisé

PELLETIER, Guy (1983). Faire garder nos enfants. Rapport de recherche no 003, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 195 pages.

Épuisé

PELLETIER, Guy (1988). **Les éducatrices et éducateurs en garderie du Québec: Orientations professionnelles et satisfaction au travail.** Rapport de recherche no 030, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 223 pages.

14,00$

PELLETIER, Guy; collaboration: CRESPO, Manuel (1981). **Le jeune immigrant dans le système scolaire.** Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 210 pages.

Épuisé

PELLETIER, Guy; collaboration: PONTON, Lise (1984). **Une enquête auprès des travailleuses en garderies.** Rapport de recherche no 009, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 170 pages.

Épuisé

SAINT-JACQUES, Diane (1991). **L'attitude créative en activités dramatiques, suivi de Théorie et pratique d'une recherche qualitative.** Rapport de recherche no 037, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 186 pages.

15,00$

STE-MARIE, Louis et KAHLER, David (1988). **Évaluation des acquisitions en lecture et écriture durant la phase I et la phase II de la "Misyon Alfa" (Alphabétisation) en Haïti.** Rapport de recherche no 029, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 180 pages.

12,00$

VAN DER MAREN, Jean-Marie (1983). **Effets de stratégies de communication et d'interaction selon leurs modalités et leurs conditions d'application.** Rapport de recherche no 004, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 245 pages.

Épuisé

REPERES - ESSAIS EN ÉDUCATION

Cette collection se présente sous la forme d'une revue comprenant des articles de fond dont la dimension varie de 50 à 80 pages. Ces articles peuvent présenter des essais sur l'éducation et ses différents aspects, des rapports de recherche plus succincts que ceux de la collection précédente, des résumés substantiels de thèses de doctorat ou de mémoires de maîtrise, des rapports préliminaires de recherche ou des rapports d'étape. La revue Repères fait paraître aussi des numéros thématiques regroupant des articles autour d'un sujet spécifique.

REPERES. Essais en éducation, no 1, (1982). Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 175 pages.

Le climat organisationnel: mythe ou réalité. Luc BRUNET - Les méthodes quantitatives propres aux études longitudinales. Clément DASSA - Les systèmes d'apprentissage opérationnels (SAO). Réal LAROSE et Serge RACINE - Contribution à l'histoire de l'enseignement au primaire québécois (1949-1980). André LEFEBVRE et Geneviève RACETTE.

6,00$

REPERES. Essais en éducation, no 2, (1983). Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 161 pages.

La mémorisation de textes et les personnes handicapées sur le plan cognitif. Jacques LANGEVIN - Tests d'hypothèses d'une différence nulle d'espérances mathématiques. Georges MARTINEAU - Contexte, texte ou mémoire: de quoi dépend la compréhension d'un message? Bernadette SKA.

Épuisé

REPERES. Essais en éducation, no 3, (1983). Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 123 pages.

Les structures d'accueil pour la petite enfance au Québec: continuité ou division des expériences éducatives. Raquel BETSALEL-PRESSER et Ninon DENOMMÉE-ROBITAILLE - Le portemanteau récalcitrant. Contribution à l'étude de la théorie de Gagné sur la résolution de problème. Colette DUFRESNE-TASSÉ et Jacinthe ARPIN. La pédagogie universitaire au Québec depuis le Rapport Parent: éléments d'une historique. André LEFEBVRE et Geneviève RACETTE.

Épuisé

REPERES. Essais en éducation, no 4, (1984). Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 134 pages.

Onze propositions et quelques considérations sur la motivation de l'étudiant adulte. Colette DUFRESNE-TASSÉ - Les principes d'une politique d'évaluation de l'apprentissage au CEGEP. Luce GOERLACH et Serge RACINE - Variation du contenu lexical de l'évaluation dans une tâche de découverte guidée gérée par ordinateur. Jean-Marie VAN DER MAREN.

6,00$

REPERES. Essais en éducation, no 5, (1985). Numéro thématique. Les alternatives aux plans expérimentaux dans la mise à l'épreuve d'hypothèses en éducation. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 121 pages.

Pour une conception de l'hypothèse et de la recherche en éducation. Jean-Marie VAN DER MAREN - À partir de l'histoire de la vérification des hypothèses: indications épistémologiques. Normand BAILLARGEON - L'entre-deux légitimations de la science à la pratique. Yves POISSON - L'entrevue clinique comme méthode de recherche en éducation. Bernadette SKA - L'étude de cas comme méthode de recherche organisationnelle en éducation. André BRASSARD - L'observation et le système du sujet. Bibiane d'ANJOU - Instruments de recherche et statut du sujet. Marie LAROCHELLE - Histoire de vie et changement paradigmatique en éducation. Gaston PINEAU - Quelques notes sur la méthodologie ancrée de la nouvelle école de Chicago. Anne LAPERRIERE - La recherche-action. Arthur GELINAS - Entre l'histoire et la sociologie sur les rapports école/société. La perspective constructiviste. André PETITAT - Et pourquoi pas de la recherche sans hypothèse? L'alternative "existentielle-phénoménologique". Thérèse LAFERRIERE.

7,00$

REPERES. Essais en éducation, no 6, (1986). Numéro thématique. Restructuration scolaire. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 157 pages.

La répartition du pouvoir formel dans le système de l'enseignement public: de 1959 à la Loi 3. André BRASSARD - Contribution à l'étude de la pensée analogique dans le cadre de la résolution de problème. Estelle CHAMBERLAND et Colette DUFRESNE-TASSÉ - Revoir la recherche en éducation: cesser de prédire pour mieux comprendre. Jean-Marie VAN DER MAREN - La réforme scolaire au Québec: un compromis. Henry MILNER.

7,00$

REPERES. Essais en éducation, no 7, (1986). Numéro thématique. Arts-expressions en pédagogie. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 135 pages.

Pour une pédagogie de l'expression. Gisèle BARRET - Vers une compréhension de l'expression créative en activités dramatiques. Diane ST-JACQUES - Revue critique de la recherche en éducation artistique. Nancy LAMBERT - Plaisir de la musique pour un enfant d'autrefois. André LEFEBVRE - Pour une définition de l'expression dramatique. Gisèle BARRET - Une recherche sur la formation des maîtres en expression - art dramatique. Gisèle BARRET et Georges LAFERRIERE - La recherche en arts-créativité-expressions à la Faculté des sciences de l'éducation de l'Université de Montréal. Gisèle BARRET.

8,00$

REPERES. Essais en éducation, no 8, (1986). Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 237 pages.

Impact d'un congé de formation payé sur les études universitaires, le travail, la vie familiale et les loisirs de l'adulte. Colette DUFRESNE-TASSÉ, Maryse DELARUE, Emmanuelle MARX, Lucil ANÉ, André LEFEBVRE et Anne BÉLANGER - Voies de recherche et d'innovation en pédagogie ouverte. Jean-Claude HÉTU - La profession enseignante: multiplicité des identités professionnelles et culture commune. Claude LESSARD - L'évaluation de l'apprentissage: Éléments de politique. Serge RACINE.

13,00$

REPERES. Essais en éducation, no 9, (1988). Numéro thématique. Enjeux en éducation: Conception, rôle et devenir de l'école publique québécoise. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 144 pages.

L'école, une organisation mal définie et dispersée. André BRASSARD - L'école de demain: L'école d'une société qui a privatisé son destin. Antoine BABY - L'école un système frontière. Régent FORTIN - L'école un tout ou un fourre-tout. Ali HARAMEIN - L'école secondaire et ses images. Claude LESSARD - Le dilemme de l'école face à ses multiples missions. Monique MUS-PLOURDE.

10,00$

REPERES. Essais en éducation, no 10, (1988). Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 112 pages.

L'intégration de la micro-informatique à l'école québécoise. Avigdor FARINE et Christophe HOPPER - Méthode d'appréciation des aptitudes de l'handicapé cognitif. Jean GAUDREAU - Le devenir de l'école québécoise: quelques éléments de base. Claude LESSARD - Logo, la langue et la pensée. Michel THÉRIEN et Marie-Christine PARET.

8,00$

REPERES. Essais en éducation, no 11, (1989). Numéro thématique. Collectif sur la formation pratique des enseignants du secondaire. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 308 pages.

La formation des maîtres du secondaire et les questions qu'elle nous pose dans la conjoncture actuelle. Thérèse HAMEL - La psychologie et son impact dans la transformation du savoir enseignant au cours des années 1930'-1960'. M'Hammed MELLOUKI - Données descriptives et formation pratique des maîtres du secondaire à l'Université du Québec à Montréal. Monique LEBRUN - Vingt ans de microenseignement à l'Université de Montréal. Marcienne LÉVESQUE - La formation à l'enseignement secondaire et collégial par simulation à l'Université Laval. Yves POISSON - La formation pratique des futurs maîtres et les Carnets du stagiaire. Renaud GAGNON et Marie-Marthe HÉBERT - Le développement de la pratique éducative dans le cadre du programme de Maîtrise en éducation (M.Ed.) en Abitibi-Témiscamingue. Gisèle MAHEUX et collaborateurs - Un enseignement à distance pour des enseignants du secondaire à l'Université du Québec à Rimouski. Yolande TREMBLAY - Le préceptorat: un stage hors l'école (Université de Montréal). Marcel BOISVERT - Résistance à l'école et au savoir scolaire ou difficulté à apprendre: défi pour les enseignants. Marcelle HARDY - L'efficacité des modèles en formation des maîtres. Marcienne LÉVESQUE et Thérèse DES LIERRES - Évaluation de l'habileté à observer la classe chez les étudiants-maîtres. Marcienne LÉVESQUE et Thérèse DES LIERRES - Évaluation des apprentissages des étudiants-maîtres pendant les stages en milieu scolaire. Colette GERVAIS - À l'Université de Sherbrooke: une formation psychopédagogique révisée axée sur l'interaction de différents savoirs. Hélène HENSLER et André BEAUCHESNE.

18,00$

REPERES. Essais en éducation, no 12, (1989). Numéro thématique. Orthopédagogies - Recherches d'aujourd'hui sur l'éducation d'élèves handicapés ou présentant des difficultés particulières d'apprentissage et d'adaptation. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 160 pages.

Déficience intellectuelle: accélération de l'acquisition de connaissances et de conduites. Jacques LANGEVIN - Que faisons-nous avec nos enfants hyperactifs? Propos et réflexions sur ces victimes de la vitesse. Jacques THIFFAULT - Les deux familles de Martin Kallikak ou le retour de l'hérédité dans les affaires de l'éducation. Jean GAUDREAU - Le programme de français et les enfants en difficulté d'apprentissage de la lecture. Nicole VAN GRUNDERBEECK - La peur de ne pas savoir la réponse: les difficultés d'apprentissage et d'enseignement des mathématiques. Gisèle LEMOYNE - Difficultés en langage écrit: approche diagnostique en Clinique d'orthopédagogie. Mia TOKER - Estime de soi et statut sociométrique d'un groupe d'élèves mésadaptés socio-affectifs intégrés en classe ordinaire. Michelle COMEAU et Georgette GOUPIL - Les activités d'apprentissage comme support aux étudiants en difficulté d'apprentissage dans l'acquisition de connaissances à l'aide de documents écrits. Louise BOURDAGES.

11,00$

REPERES. Essais en éducation, no 13, (1991). Numéro spécial. Méthodes de la recherche en éducation: courants et débats. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 130 pages.

Définir l'objet des recherches pour l'éducation: des sciences de l'éducation au savoir pédagogique. Jean-Marie VAN der MAREN - Statistique, méthodes quantitatives et analyse des données. Jean-Guy BLAIS - L'approche quantitative dans les recherches en éducation. Jean-Marie VAN der MAREN.

12,00$

ACTES DE COLLOQUE

Dans cette collection, paraissent les actes de colloques organisés par la Faculté et ses professeurs sur des sujets d'intérêt public ou plus spécialisés.

BIBEAU, Gilles et collaborateurs (réd.) (1985). La qualité en éducation: enjeux et perspectives. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 359 pages.

17,00$

BRASSARD, André (réd.) (1987). Le développement des champs d'application de l'administration: le cas de l'administration de l'éducation. Actes du Colloque, tenu à Montréal le 15 mai 1986 lors du Congrès de l'ACFAS. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 166 pages.

Épuisé

BRUNET, Luc (1986). Problématique de la recherche institutionnelle et comportement organisationnel. Compte rendu symposium Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 84 pages.

5,00$

FORTIN, Nicole et LECLERC, Jean-Marc (1988). Les mots. Le feed-back comme moyen de formation dans les stages. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation et du Service pédagogique de l'Université de Montréal. Guide de l'intervenant, 42 pages et vidéo.

Guide seulement - 3,00$
Guide et vidéo - 60,00$

GAGNÉ, Gilles et SAINT-JACQUES, Diane (réd.) (1988). Pour l'avancement de la recherche en éducation. Actes des Journées de la recherche et des grades supérieurs à la Faculté des sciences de l'éducation de l'Université de Montréal tenues du 24 au 26 septembre 1986. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 227 pages.

14,00$

HONNON, Pierre et VIVET, Martiel (réd.), avec la collaboration de Paul d'Amour (1991). Robotique pédagogique. Actes du IIe Congrès international, tenu à Montréal du 22 au 24 août 1990. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 362 pages.

27,00$

VAN DER MAREN, Jean-Marie et collaborateurs (1985). Stratégie pour la pertinence sociale de la recherche en éducation. Enquête-symposium. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal (Société canadienne pour l'étude de l'éducation), 135 pages.

7,00$

VAN DER MAREN, Jean-Marie et PAINCHAUD, Gisèle (réd.) (1985). Objets et méthodologies en recherche qualitative. Actes du Colloque. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 68 pages.

Épuisé

VAN DER MAREN, Jean-Marie (réd.) (1987). L'interprétation des données dans la recherche qualitative. Actes du Colloque de l'Association pour la recherche qualitative tenu à l'Université du Québec à Trois-Rivières le 31 octobre 1986. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 132 pages.

9,00$

PRIX JEANNE-GRÉGOIRE

Le but de cette collection consiste à publier une fois par année, sous forme de volume, le texte de la meilleure thèse de doctorat soutenue à la Faculté des sciences de l'éducation. Les thèses sont évaluées par un jury sur la base de leur valeur scientifique.

DIONNE, Jean J. (1987). Vers un renouvellement de la formation et du perfectionnement des maîtres du primaire: Le problème de la didactique des mathématiques. Thèse de doctorat, 1986. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 353 pages.

19,00$

DUPONT, Chantal (1984). Reconstruction par les enfants de six à neuf ans de messages filmiques à structure ouverte ou fermée. Thèse de doctorat, 1983. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 340 pages.

Épuisé

FORTIN, Jean-Louis (1982). L'impact de la formation universitaire sur les modes de pratique dentaire. Thèse de doctorat, 1982. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 387 pages.

18,00$

LAHAYE, Louise (1988). La scolarisation au Bénin: étude des cheminements scolaires et des rapports à la scolarisation des élèves du secondaire. Thèse de doctorat, 1987. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 382 pages.

22,00$

LALANDE, Jean-Pierre (1991). Élaboration d'un modèle théorique de l'apprentissage de l'orthographe lexicale au primaire. Thèse de doctorat, 1988. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 364 pages.

27,00$

MERROUNI, Mekki (1981). Le Collège musulman de Fès. Thèse de doctorat, 1981. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 390 pages.

18,00$

TÉJI, Justin (1986). Gestion de la contraction financière dans les organisations universitaires. Thèse de doctorat, 1985. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 338 pages.

17,00$

WATTERS, Jean (1985). Fonctions et tâches des intervenants en formation par téléconférence. Thèse de doctorat, 1984. Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 205 pages.

Épuisé

COLLECTION SPÉCIALE

Cette collection, créée en 1990 à l'occasion du 25e anniversaire de la Faculté des sciences de l'éducation, sera consacrée particulièrement à l'historique de la Faculté et aux événements spéciaux la concernant.

CRÉPEAU, Gustave (1990). La Faculté des sciences de l'éducation de l'Université de Montréal - Profil historique. Collection spéciale HIS 001, Publications de la Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, 194 pages.

12,00$

COLLECTION ACTES DE COLLOQUE